

XII CONGRESO NACIONAL DEL COLOR

Linares, 25-27 de septiembre de 2019

Libro de Actas

© De los textos, sus autores, 2019

ISBN 978-84-09-15750-1

IBIC TTB





Coordinador de la edición

Ruperto Bermejo Román

Equipo editorial

Ruperto Bermejo Román

Antonio José Ortiz Hernández

Rafael Cuesta Martos

Ana Belén García Ruiz

María del Carmen Murillo Cruz

Diseño de Cubierta

Fernando Segura Senent

XII Congreso Nacional del Color

Linares 25-27 septiembre 2019

Comité Organizador

Ruperto Bermejo Román, Presidente

Antonio José Ortiz Hernández, Vocal

Rafael Cuesta Martos, Vocal

Ana Belén García Ruiz, Vocal

Maria del Carmen Murillo Cruz, Vocal

Humberto Michinel Álvarez, Vocal externo

Comité Científico

Luis Jiménez del Barco, Universidad de Granada

Manuel Melgosa Latorre, Universidad de Granada

Alicia Pons, CSIC

Alejandro Ferrero, CSIC

Pascual Capilla, Universidad de Valencia

Julio A. Lillo, Universidad Complutense de Madrid

María José Luque, Universidad de Valencia

Humberto Moreira, Universidad Complutense de Madrid

Juan Serra, Universidad Politécnica de Valencia

Ana Torres, Universidad Politécnica de Valencia

Ana López Montes, Universidad de Granada

María Vanrell, Universidad Autónoma de Barcelona

Javier Romero, Universidad de Granada

Rafael Huertas, Universidad de Granada

Juan Luis Nieves, Universidad de Granada

Pedro José Pardo-Fernández, Universidad de Extremadura

Francisco J. Burgos Fernández, Universidad Politécnica de Cataluña

Meritxel Vilaseca, Universidad Politécnica de Cataluña

Javier Hernández, Universidad de Granada

Eva María Valero, Universidad de Granada

Olga María Conde, Universidad de Cantabria

Francisco José Heredia Mira, Universidad de Sevilla

J. Federico Echávarri, Universidad de La Rioja

Ruperto Bermejo, Universidad de Jaen

Ángel Ignacio Negueruela, Universidad de Zaragoza

Joaquín Campos, CSIC

Enrique Hita, Universidad de Granada

Valentín Viqueira, Universidad de Alicante

Francisco M. Martínez Verdú, Universidad de Alicante

Jaume Pujol, Universidad Politécnica de Cataluña

Esther Perales, Universidad de Alicante

María Sagrario Millán, Universidad Politécnica de Cataluña

M. Isabel Suero López, Universidad de Extremadura

José Antonio García, Universidad de Granada

Javier Perales, Universidad de Granada

Dolores de Fez, Universidad de Alicante

Mª Lourdes González-Miret Martín, Universidad de Sevilla

Francisco José Rodríguez Pulido, Universidad de Sevilla

Bienvenida,

En la actualidad la Ciencia y tecnologías asociadas al Color tienen un papel muy relevante en los ámbitos de la investigación científica, la enseñanza y las aplicaciones industriales. Así, el número de grupos, proyectos de investigación y empresas que involucran y desarrollan su producto en torno al color, crece de forma constante, haciendo de esta disciplina una herramienta fundamental en el avance tecnológico y desarrollo de nuestra sociedad.

En este sentido, la labor del Comité de Color de SEDOPTICA ha sido y es fundamental para convertir este congreso en un foro de nivel relevante para el conocimiento y debate científicos. La XII edición del Congreso Nacional del Color pretende ser un foro multidisciplinar que permita poner en contacto a investigadores, estudiosos y profesionales de las diversas disciplinas relacionadas con el mundo del color. Se trata de un congreso con características y connotaciones propias de las diferentes áreas de conocimiento que se integran en el Comité del Color de la Sociedad Española de Óptica y desde el Comité Organizador, queremos destacar la ayuda recibida por parte de la Junta Directiva del Comité del Color, así como la colaboración de las entidades patrocinadoras correspondientes.

La ciudad de Linares es reconocida como un destino de turismo interior ligado a la Gastronomía y al Patrimonio Histórico Minero. Por su tamaño y características el Campus Científico-Tecnológico de Linares y en concreto las instalaciones de la Escuela Politécnica Superior de Linares (EPSL), son un lugar apropiado para la celebración de las actividades del congreso. La Escuela Politécnica Superior de Linares, es un centro centenario fundado en 1892 y reconocido con la Medalla de Andalucía.

Este Congreso tiene por objetivo seguir el camino de ediciones precedentes y dejar huella en todos los participantes, verdaderos actores principales del mismo, sin los cuales no hubiera sido posible este encuentro tan entrañable y productivo. Para todos, nuestros mejores deseos y nuestra más cordial bienvenida a la ciudad de Linares. Para el Comité Organizador ha sido un placer poder contribuir con todo nuestro entusiasmo y esperamos que además del valor científico del encuentro, se lleven una porción sentimental de nuestra ciudad y de la comarca norte de la provincia de Jaén.

Ruperto Bermejo Román

Presidente del Comité Organizador XII Congreso Nacional del Color

CONFERENCIAS PLENARIAS

Pag.1 - **Javier Romero**, Catedrático del Departamento de Óptica de la Universidad de Granada: *"Aspectos cromáticos del análisis óptico y computacional de pinturas"*

Pag.5 - **Jan Morovic**, Senior Color Scientist. Master Technologist en HP Inc., Barcelona: *"Color continuity along the journey from ideas to objects"*.

Pag.9 - **Gemma Contreras Zamorano**, Subdirectora de Conservación, restauración e investigación del IVC+r, **Greta García Hernández**, Técnico superior en conservación y restauración de arte moderno y contemporánea y peritaje, valoración y expertización de obras de arte, y **Livio Ferrazza**: *"El tímpano de la portada de los apóstoles. Iglesia arciprestal de santa maría la mayor de Morella. Reconstrucción virtual sobre réplica en 3d De su policromía gótica original"*.

COMUNICACIONES ORALES EN LA CONVOCATORIA

BLOQUE TEMÁTICO 1

Ciencia, Tecnología y Percepción del Color

Pag.18 - **Julio Lillo *et al.:*** *"Los daltónicos dicrómatas no tienen menor constancia de color que los observadores comunes cuando cambia la temperatura cromática de iluminantes naturales (daylight) y se contemplan escenas naturales"*.

Pag.22 - **Néstor Tejedor *et al.:*** *"Desarrollo de sistema óptico para la medida de la translucidez"*.

Pag.25 - **Halina Cwierz *et al.:*** *"Cómo realizar una correcta gestión del color en sistemas de realidad virtual"*.

Pag.29 - **Halina Cwierz *et al.:*** *"Herramienta para la valoración de la capacidad de discriminación del color de observadores normales y defectivos mediante un test de ordenación de color, reproducido en un entorno de realidad virtual"*.

Pag.33 - **Juan Luís Jiménez *et al.:*** *"Estudio espectroradiométrico de los cambios de color de dos protocolos de revascularización pulpar y su posterior blanqueamiento"*.

Pag.37 - **Esther Perales *et al.:*** *"Estimación visual del graininess mediante el método psicofísico de ordenación de estímulos"*.

Pag.41 - **Miguel A. Martínez-Domingo *et al.:*** *"¿Las gafas VINO 02 Amp Oxy-Iso corrigen la deficiencia rojo-verde en la visión del color?"*.

BLOQUE TEMÁTICO 2

Color en la Industria y Tecnología del color. Aplicaciones de la imagen multiespectral

Pag.45 - **Khalil Huraibat *et al.:*** *"Byko-spectra effect light booth simulation for digital rendering tool".*

Pag.49 - **Ana María Rabal *et al.:*** *"¿Es necesario normalizar la medida de la BRDF?".*

Pag.52 - **Bàrbara Micó-Vicent *et al.:*** *"Optimización de las respuestas colorimétricas de B-Ficoeritrina tras su estabilización mediante el empleo de nanoarcillas laminares".*

Pag.56 - **Laura Rey *et al.:*** *"Imagen multiespectral polarizada para el diagnóstico del cáncer de piel".*

Pag.60 - **José Vicente del Valle *et al.:*** *"Caracterización multiespectral de una carta de color con cámara de consumo y varios iluminantes de diferente composición espectral".*

Pag.67 - **Francisco Díaz-Barrancas *et al.:*** *"Aplicación de texturas hiperespectrales a objetos 3D en escenas de Realidad Virtual".*

Pag.71 - **Laura Rey *et al.:*** *"Estudio espectroscópico de glóbulos rojos mediante microscopía confocal en pacientes con talasemia".*

BLOQUE TEMÁTICO 3

Color en Alimentos

Pag.75 - **Paz Sebastián *et al.:*** *"Control de calidad del aceite de fritura mediante smartphones colorimétricamente calibrados".*

Pag.79 - **Mª Carmen Murillo-Cruz *et al.:*** *"Using color determination to study vegetable oils enriched with carotenoids from microalgae and fungi".*

Pag.83 - **Claudia Yamile Salazar *et al.:*** *"Caracterización colorimétrica y granulométrica de polen apícola mediante análisis de imagen digital".*

Pag.88 - **Ana B. García *et al.:*** *"Colorimetric evaluation of biliproteins as natural colorants to be used in food and beverages".*

BLOQUE TEMÁTICO 4

Color en Arte y Arquitectura. Color y Educación

Pag.92 - **Francisco José Collado *et al.:*** *"Evaluación de los cambios de color inducidos por consolidantes sobre pinturas al fresco de procedencia romana, tardoantigua, emiral y califal".*

Pag.96 - **Elena Esteban *et al.:*** *"Mejoras metodológicas para la conservación del color en limpiezas y desacidificaciones de documentos gráficos con tintas solubles".*

Pag.100 - **María Isabel Suero *et al.:*** *"Estudio de la evolución del color en la obra de Monet en función de la edad y su salud visual".*

Pag.104 - **Pía López Izquierdo:** *"La percepción del Color en los espacios arquitectónicos".*

Pag.108 - **Dolores de Fez *et al.:*** *"Laboratorio de visión del color para todos".*

Pag.112 - **José Antonio García *et al.:*** *"¿Se puede enseñar el color en Primaria mediante indagación?".*

Pag.116 - **Irene de la Torre *et al.:*** *"Experiencias docentes de aplicación del color en el diseño de piezas cerámicas".*

Pag.120 - **Patrick Callet:** *"Elementary Colours".*

PÓSTERES EN LA CONVOCATORIA

BLOQUE TEMÁTICO 1

Ciencia, Tecnología y Percepción del Color

Pag.124 - **María García *et al.:*** *"Efecto de la toxicidad del tabaco en la visión cromática de fumadores incipientes".*

Pag.128 - **Luís Gómez-Robledo *et al.:*** *"Hacia una estandarización del color de las banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España".*

Pag.132 - **Manuel Melgosa *et al.:*** *"Comparando el color de objetos en Marte y en la Tierra".*

Pag.136 - **Luis M. Jiménez-del-Barco *et al.:*** *"Sobre el modelo de apariencia de Color de R.W.G. Hunt y su comportamiento en discriminación cromática, In memoriam".*

Pag.140 - **Denis Eduardo Riquelme *et al.:*** *"Evaluación y caracterización de luminarias led para tareas visuales de altas exigencias".*

Pag.147 - **Justyna Niewiadomska-Kaplar :** *"Do the chromatic vision deficits confirm the review of color vision mechanisms?".*

Pag.153 - **Mari Carmen García-Domene *et al.:*** *"Análisis de la sensibilidad al contraste cromático en pacientes con lente intraocular con filtro para longitudes de onda corta".*

BLOQUE TEMÁTICO 2

Color en la Industria y Tecnología del color. Aplicaciones de la imagen multiespectral

Pag.157 - **Luis Felipe-Sesé *et al.:*** *"Utilización del patrón de color RGB para medida de deformaciones mecánicas en 3D".*

Pag.161 - **Tommaso Alterini *et al.:*** *"Medidas hiperespectrales de fondo de ojo: una nueva herramienta para el diagnóstico oftalmológico2.*

Pag.165 - **Francisco Díaz *et al.:*** *"Reconstrucción de objetos 3D mediante técnicas SFM y obtención de texturas hiperespectrales".*

Pag.169 - **Ramón Fernández-Gualda *et al.:*** *"Deep Learning para predicción de saliencia en imágenes en color".*

Pag.173 - **David Marco *et al.:*** *"Caracterización de retardadores ópticos estructurados mediante su color de birrefringencia".*

Pag.177 - **Federico Grillini *et al.:*** *"Psychophysical evaluation of gonio-apparent printed samples".*

BLOQUE TEMÁTICO 3

Color en Alimentos

Pag.180 - **María Jesús Cejudo-Bastante *et al.:*** *"Caracterización colorimétrica y betalaínica de plásticos antioxidantes de etilen-vinil-alcohol y remolacha roja".*

Pag.184 - **María Lourdes González-Miret *et al.:*** *"Colorimetría Diferencial en la evaluación del potencial colorante de pigmentos antociánicos naturales".*

Pag.188 - **José Federico Echávarri *et al.:*** *"Influencia de la microoxigenación en el valor de las coordenadas cromáticas del vino tinto y sus fracciones polifenólicas".*

Pag.192 - **María Luisa Escudero *et al.:*** *"Evaluación colorimétrica de la adición de extractos de semillas a vinos tintos".*

Pag.196 - **María Luisa Escudero *et al.:*** *"Evaluación colorimétrica de un zumo de frutas y verduras fermentado con kéfir".*

Pag.200 - **Andrés Durán *et al.:*** *"Efecto del secado solar y granulometría sobre la caracterización colorimétrica del polen apícola de bosques alto-andinos de Colombia".*

Pag.204 - **Belén Gordillo et al.:** *"Evaluación Colorimétrica Diferencial de la copigmentación entre flavanoles de semilla de uva sobremaduras y antocianos del vino".*

BLOQUE TEMÁTICO 4

Color en Arte y Arquitectura. Color y Educación

Pag.208 - **Ana Torres-Barchino *et al.:*** *"La percepción del color en espacios arquitectónicos a través de la Realidad Virtual en personas mayores dependientes. Caso de estudio".*

Pag.212 - **Juan Serra *et al.:*** *"Diseño gráfico y cromático para mejorar la calidad de los espacios asistenciales: Hospital Universitari i Politècnic La Fe".*

Pag.216 - **María González-Cabrera *et al.:*** *"Evolución cromática de pigmentos históricos sometidos a envejecimiento acelerado con radiación UV".*

Pag.220 - **Guusje Harteveld *et al.:*** *"Bidirectional Reflectance Distribution Function measurements on single and multiple layered oil paint structures".*

Pag.224 - **María José Luque *et al.:*** *"Defectos de visión de color: Herramientas de simulación para el aula y el laboratorio docente".*

Pag.228 - **María José Luque *et al.:*** *"Diseño de un test de sensibilidad al contraste cromático: del aula a la clínica".*

Aspectos cromáticos del análisis óptico y computacional de pinturas

Javier Romero Mora

Departamento de Óptica. Universidad de Granada, 18071-Granada

http://www.colorimaginglab.ugr.es

1. Introducción

La pintura es una de las expresiones artísticas de mayor presencia en la Sociedad. A lo largo de los siglos, los pintores han querido plasmar la realidad o hacer una interpretación de la misma conforme a su visión personal. En muchos casos, han querido también provocar sentimientos o pensamientos sobre un tema, ya sea de carácter religioso, social o simplemente estético. Todo ello con las limitaciones propias de los materiales (pigmentos, colorantes…) y herramientas (soportes, pinceles…) en cada época. Los distintos estilos y técnicas son reflejo de cada época y la evolución es clara a lo largo de los siglos, como nos muestran los libros de Historia del Arte [1]. Los pintores han sido, en muchas ocasiones, favoritos del público, de reyes y gobernantes, o de personajes influyentes de la sociedad. Si bien, la que podemos considerar "gran pintura" ha sido adquirida por los distintos tipos de poderes, estos, habitualmente, han gustado de mostrar sus pinturas al gran público para su admiración.

Distintos autores han realizado estudios computacionales sobre la caracterización espacio-cromática de pinturas. Para ello han aplicado técnicas matemáticas que extraen parámetros estadísticos a partir de imágenes digitales de pinturas conocidas. Los objetivos de dichos trabajos han sido principalmente el estudio de si las pinturas reproducen o no los mismos parámetros estadísticos encontrados en escenas naturales (de paisajes o personas), el poder establecer diferencias entre estilos basados en determinados parámetros (estilometría), la posible utilización de técnicas estadísticas para la distinción de originales de imitaciones de un determinado autor, el estudio de la evolución de un determinado pintor o grupo de pintores y la posible evaluación computacional de la estética. Revisiones de estos trabajos se pueden encontrar en Stork [2] y Graham and Redies [3], o más recientemente en Sigaki et al. [4].

De estas revisiones podemos deducir que uno de los parámetros estadísticos más estudiado hasta la fecha ha sido el espectro de potencia de las imágenes de obras pictóricas y su dependencia con la frecuencia. Mediante el cálculo de la transformada discreta de Fourier de dichas imágenes se ha podido establecer que el espectro de potencia presenta una dependencia con la frecuencia del tipo $1/f^2$, tanto en pintura realista como abstracta. Este tipo de dependencia se encuentra también cuando se hace el mismo estudio para imágenes de escenas naturales. Podríamos decir que el pintor preserva esta característica de las escenas naturales cuando las reproduce. Se puede apuntar que la pintura comparte regularidades estadísticas esenciales con las escenas naturales a pesar que en la pintura se encuentre limitado el rango dinámico de las imágenes. De acuerdo con Graham y Field [5]: "Una comprensión completa de las similitudes y diferencias entre la estadística de las escenas naturales y las del arte puede conducir a descubrimientos con respecto a la codificación que hace el sistema visual humano del entorno natural".

La dimensión fractal ha sido relacionada con la percepción de la rugosidad y complejidad, la discriminabilidad y la preferencia estética [3]. Se ha aplicado el análisis fractal en el tema de autentificación de pinturas, el estudio de la evolución de determinados artistas, las propiedades estadísticas de una determinada pintura o de varios artistas o de movimientos artísticos y en la relación de la dimensión fractal de las pinturas y los principios de la Estética.

Otro de los parámetros que ha sido estudiado ha sido la distribución de la luminosidad en pinturas. En las escenas naturales el rango dinámico de luminancias observado es mucho mayor que el que se puede conseguir en la pintura. Si el primero puede rondar de 1000 a 1, en el segundo caso puede ser aproximadamente de 30 a 1, Graham y Field [5]. Parece observarse que los pintores realizan algún tipo de transformación no-lineal, por ejemplo, logarítmica, al pasar de la escena natural al cuadro, lo que propicia dicho resultado. En este sentido, la compresión realizada estaría próxima a la que hacen los

fotorreceptores de la retina, conos y bastones. Graham y Field [5] alcanzan este resultado cuando aplican a escenas naturales y a obras pictóricas compresiones logarítmicas sobre imágenes previamente filtradas por filtros de Gabor (wavelets) y filtros gaussianos (DoG, difference of gaussians).

En términos generales se encuentra que las técnicas estadísticas de alto orden tienen un gran potencial para establecer distinciones estilísticas en pinturas. Sin embargo, Wallraven et al. [6] cuando estudian las posibilidades de las técnicas computaciones para clasificar pinturas por estilos encuentran que estas han de mejorar mucho antes de poder ser usadas para hacer clasificaciones estilísticas o estéticas. En este sentido, Sigaki et al. [4] han obtenido buenos resultados al combinar parámetros de entropía y complejidad a la caracterización de estilos pictóricos y la evolución histórica de la pintura.

Respecto de las distribuciones de color en las pinturas, Graham y Redies [3] apuntan que "hasta la fecha no existen trabajos a gran escala sobre la relación estadística entre las distribuciones de color en el arte y en las escenas naturales. Intuimos que en futuros trabajos sobre obras de arte en color mostrarán similitudes en la codificación del color a las encontradas en escenas naturales, dado que se han descrito relaciones entre la estadística del color de las escenas naturales y el procesamiento del color por el sistema visual humano". Montagner et al. [7] han comparado las gamas de color encontradas para un conjunto de escenas naturales y 44 pinturas de distintos autores. Sus resultados muestran diferencias en las pendientes de las elipses calculadas para caracterizar las gamas de color en el diagrama cromático Cielab a*b*. Nascimento et al. [8] han mostrado que las gamas de color empleadas por los pintores suelen coincidir con las preferencias estéticas de los observadores de las pinturas. Montagner et al. [9] han mostrado las posibilidades del estudio estadístico de la gama cromática de un solo pintor. Romero et al. [10], han comparado gamas de color de pintores del renacimiento y el barroco, encontrando ciertas diferencias en volumen de la gama, número de colores discernibles y valor de L* medio, mayor para los pintores del renacimiento.

En esta contribución pretendemos un objetivo doble. Por una parte, presentar cómo quedan plasmados en la pintura una amplia variedad de fenómenos ópticos de la Naturaleza, lo que haremos en la presentación oral de forma descriptiva. Por otro, hacer un análisis de las gamas cromáticas de un conjunto obras de maestros de la pintura para poder establecer similitudes y diferencias entre ellos conforme a un análisis computacional de sus pinturas. Es decir, establecer y calcular un conjunto de parámetros cromáticos que nos permitan caracterizar cada pintura y ver si puede ser definitorio del estilo y obra de un pintor.

2. Pintores, pinturas y método

Este año se celebra el bicentenario del Museo del Prado, lo cual ha sido una perfecta excusa para enfocar este estudio sobre la obra de grandes maestros con un número importante de pinturas en este museo. Por ello seleccionamos distintos cuadros de Tiziano (43), Rafael (8), Brueghel el Viejo (50), El Greco (34), Rubens (96), Ribera (64), Velázquez (51), Murillo (40), Goya (118), tomadas de la página web del museo del prado [11] de acceso libre. Los valores sRGB para cada pixel de las imágenes fueron transformados a los espacios de representación del color CIE1931 (x,y,Y) y Cielab (L*,a*,b*). Los parámetros determinados para cada pintura fueron: las medias de los valores (x,y), (L*,a*,b*), la elipse ajustada a la gama cromática en el diagrama (a*,b*) con sus parámetros (orientación, relación de semiejes y área), el número de colores discernibles [8], el número de colores relevantes y el porcentaje de colores oscuros, es decir de L*<30.

El número de colores relevantes merece una explicación aparte. Cuando se obtiene el número de colores discernibles, es decir, dividiendo el espacio de color en cubos de 1 unidad Cielab de lado y contando el número de cubos ocupados por la gama de color, se obtienen en cualquier escena, miles de ellos. Sin embargo, hemos desarrollado un método para determinar el número de colores que a simple vista un observador no experimentado podría decir que son los principales en una imagen. Es decir, un número que va a rondar como máximo entre 15 y 20. Basados en un proceso iterativo de segmentación y en experiencias sicofísicas, llegamos a un método para determinar el número de colores relevantes, consistente en dividir el espacio de color en cubos de 20 unidades Cielab de lado y contar los cubos que al menos eran ocupados por al menos el 3% de los colores totales, o cubos ocupados con colores de la

menos L*>80 o C*> percentil 50 del croma y que tuvieran al menos un 1% del total de colores. El color relevante se determinaba como la media de los colores en cada cubo.

En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos para una pintura y sus colores relevantes obtenidos.



Figura 1: Ejemplo de colores relevantes

3. Resultados y conclusiones

En la tabla 1 se muestran los valores medios por pintores salvo para Goya. Como podemos observar se pueden extraer una serie de conclusiones en cuanto a las características comunes y discrepantes de las distintas gamas de colores. Así, los valores medios de la orientación de la elipse y su relación de semiejes presentan valores similares para los distintos pintores y en consonancia con lo encontrado por otros autores [7]. Las discrepancias surgen el área de las elipses, el número de colores

	Tiziano	Rafael	Brueghel	Greco	Rubens	Ribera	Velázquez	Murillo
x medio	0,350	0,356	0,347	0,342	0,354	0,356	0,351	0,352
y medio	0,361	0,366	0,365	0,356	0,362	0,359	0,363	0,358
L* medio	55,74	54,53	57,74	58,42	60,21	48,23	56,35	55,87
a* medio	1,99	2,50	-0,04	0,91	2,63	3,36	1,52	3,15
b*medio	12,00	13,85	12,27	9,79	13,66	11,22	12,37	11,74
Nº Cl. dc	22529	31195	31344	22416	24895	12995	13348	16707
Nº Cl. rel	13.6	17.5	17.4	17.0	15.7	10.9	11.5	14.1
Orient. ellipse	76,56	72,26	71,45	74,50	67,00	71,22	69,32	67,21
Rel.semiejes elipse	0,46	0,45	0,50	0,53	0,46	0,36	0,41	0,41
Área elipse	938,11	2218,51	1261,53	943,10	1021,10	688,66	567,56	686,01
% oscuros	39,87	43,56	37,17	33,01	28,67	65,26	38,40	44,95

Tabla 1: Resultados medios para los distintos parámetros.

discernibles y el porcentaje de colores oscuros, en los que se detecta el paso del renacimiento al barroco, con una disminución del tamaño de las gamas cromáticas y el aumento del porcentaje de colores oscuros. Casos extremos sería Rafael de un lado y Ribera de otro. En el caso de los colores relevantes se da una clara disminución para Ribera, lo que están en consonancia con su gama cromática más reducida, y para Velázquez, al que siempre se le ha atribuido una paleta restringida [1].

Estos resultados se ven refrendados en el caso de analizar la pintura de Goya, que hemos dividido en tres periodos: uno primero de gran variedad cromática en sus pinturas, correspondientes a los encargos para la Real Fábrica de Tapices. El segundo, de madurez de su obra, centrada en gran parte en retratos y un tercero que se corresponde con las conocidas "pinturas negras" Los resultados muestran de nuevo que las diferencias entre periodos son acusadas en las características cuantitativas de la extensión de la gama de colores, siendo de mayor volumen para las pinturas de tapices y menor para las pinturas negras.

Agradecimientos: Los doctores Juan Luis Nieves Gómez y Luís Gómez Robledo han sido fundamentales en el desarrollo de este trabajo, en especial en la determinación del método de cálculo del número de colores relevantes y en la discusión general del trabajo.

Bibliografía

[1] E.H. Gombrich, *The Story of Art* (Phaidon Press, London, 2006).

[2] D.G. Stork, "Computer image analysis of paintings and drawings: and introduction to the literature". *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns, CAIP 2009. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5702, pp.9-24 (Springer Verlag, Heidelberg, 2009).

[3] D.J. Graham and C. Redies: "Statistical regularities in art: relations with visual coding and perception". Vision Research **50**, pp. 1503-1509 (2010).

[4] H.Y.D. Sigaki, M. Perc and H.V. Ribeiro, "History of art paintings through the lens of entropy and complexity", Proc.Natl.Acad.Sci. **115**, pp. E8585-E8594 (2018).

[5] D.J. Graham and D. Field: "Statistical regularities of art images and natural scenes: spectra, sparseness and nonlinearities". Spatial Vision **21**, pp. 149-164(2007).

[6] C.R. Wallraven, R. Fleming, D. Cunningham, J. Rigau, M. Feixas and M. Sbert: "Categorizing art: comparing humans and computers". Computer&Graphics **33**, pp. 484-495 (2009).

[7] C. Montagner, J.M.M. Linhares, M. Vilarigues and S.M.C. Nascimento: "Statisitics of color in paintings and natural scenes". J.Opt.Soc.Am. A **33**, pp. A170-A177(2016).

[8] S.M.C. Nascimento, J.M.M. Linhares, C. Montagner, C.A.R. Joao, K. Amano, C. Alfaro and A. Bailao, "The colors of paintings and viewers' preferences", Vision Research **130**, pp. 76-84 (2017).

[9] C. Montagner, J.M.M. Linhares, M. Vilarigues, M.J. Melo and S.M.C. Nascimento, "Supporting the history of art with colorimetry: the paintings of Amadeo Souza Cardoso", Color Res. and Appl. **43**, pp. 304-310 (2018).

[10] J. Romero, L. Gómez-Robledo and J.L. Nieves, "Computational color analysis of paintings for different artists of the XVI and XVII centuries", Color Res. and Appl. **43**, pp. 296-303 (2018).

[11] https://www.museodelprado.es/coleccion.

Color continuity along the journey from ideas to objects

Ján Morovič

HP Inc., Barcelona, Catalonia, Spain

https://www8.hp.com/uk/en/commercial-printers/

1. Introduction

Beatrice Warde's maxim that "type well used is invisible as type" can be applied to many other domains, including that of color communication. The ultimate goal here is for there to be no need whatsoever to pay attention to color and for it to "just work". Instead of having to care about how color is communicated, how it is represented, how it is measured, how it is managed, how it is kept consistent and how it relates across different contexts, technologies and applications, it should "just work". The ultimate objective is for color communication to happen invisibly, without the need for intervention, but for it to happen as expected – consistently with different and multiple possible expectations under different circumstances.

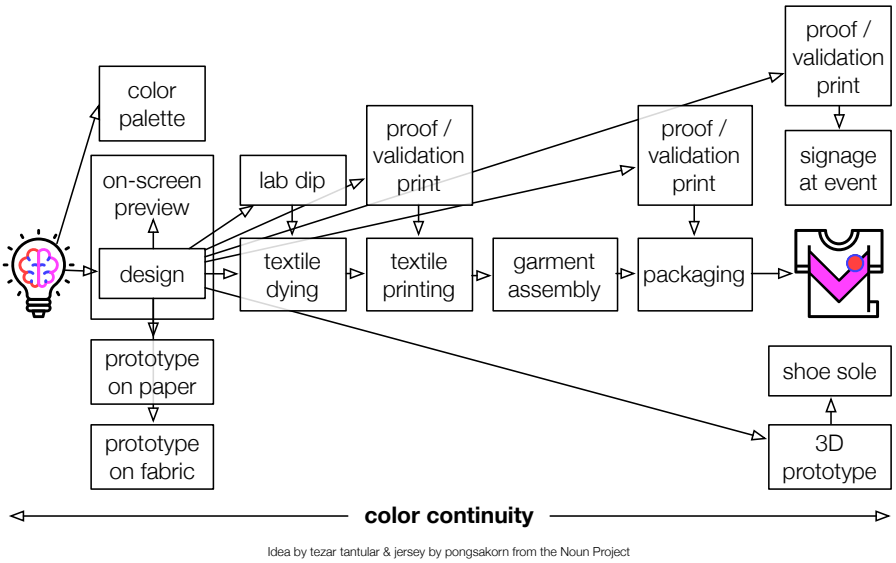


Figure 1: From ideas to objects: a bicycle race jersey case study.

Taking the example of a team jersey for a bicycle race, it is possible to trace a journey from a creative team's minds to the jersey being delivered to its wearer ahead of an event (Fig. 1). The starting point would involve the challenges of a first materialization of ideas, where the definition of a color palette (using swatches from color books, found objects, …), on-screen previews, coupled with first printed prototypes on paper and eventually prints on fabric, would be part of an iterative process of arriving at a design. The color focus here would be on expressing a feeling, a mood, a style, a level of comfort or dynamism, etc. and representations of the design would serve the purpose of validating choices against such broad concepts. A prototype on fabric may also be produced to gage how the design drapes, stretches, fits. This process may also include the incorporation of pre-existing designs, such as team or sponsor logos, with their own color specifications. A combination of textile dying, where accurate matching to the initial design under multiple light sources would be key, and printing on pre-dyed textiles may then follow, where color matching between different materials and to tight tolerances would be the objective. Here the challenges of maintaining color consistency during different production processes (often also across geographies and technologies), and of configuring them for matching pre-defined targets and thresholds under a variety of viewing conditions, would be major constraints.

A garment prepared in such a way would then be assembled and packaged, where the packaging too would be the result of a parallel journey from idea to object and where color continuity with the garment

itself would be needed. At the race there may then also be signage (posters, banners, vehicle or helmet wraps, …) as well as other objects whose colors relate to that of the jersey (backpacks, bags, lanyards, pens, personalized labels, …), including 3D-printed ones like shoe soles, which again would have had their own idea-to-object color journeys that would share a common requirement of color continuity.

All of the above may sound either like science-fiction (since the number of players and elements in these processes is very large, the connections among them are incomplete and managing them is challenging) or trivial (since we see examples of it being done reasonably or even very successfully today). Instead, it can be thought of as representing a space of performance versus complexity and time where current practice is at a certain point that today requires significant expertise and iteration. At the same time, there is a movement towards a much more closely integrated and streamlined way of creating and producing that will allow for more energy being directed at adding value than at having to manage and coordinate processes. The next section will present examples of recent developments in color printing that are along the path towards making the handling of color transparent, followed by a section that sets out some key challenges in color communication whose resolution lies ahead for the next 10 years or more.

2. Recent advances in color for printing

As examples of how printing is changing in a way that moves towards enabling a more transparent handling of color, this section will introduce examples from HP for the sake of showing tangible cases of color and imaging search having made it from discovery/invention, through product development and into productization. At the same time, it is important to acknowledge that all players in the printing ecosystem are making advances towards greater streamlining and integration and could give their own examples of how color printing has been advanced over the last years. Turning to HP though, the following are four prominent instances of such evolution and even revolution.

First, there is the ΔE_{NS} color difference equation [1], developed in collaboration with Zhejiang University in response to the need for more accurately predicting the level of perceived color difference between two stimuli viewed with no separation (NS). While color difference equations such as ΔE2000 and ΔE(CMC) are derived from observations about viewing stimuli with a clear gap between them and against a uniform background, many printed objects involve parts made at different times or coming from different locations within a substrate viewed side-by-side with no separation (Fig. 2a). Tiling for billboards or wallcoverings, packaging with folded carton or printing of garments assembled out of multiple pieces all share this characteristic. Having such a new metric for color difference then becomes an enabler for handling various color processes (e.g., calibration, verification) more reliably when their output is used in gapless viewing scenarios and where previous metrics left a disconnect between their predictions and observer experiences that required greater manual intervention.

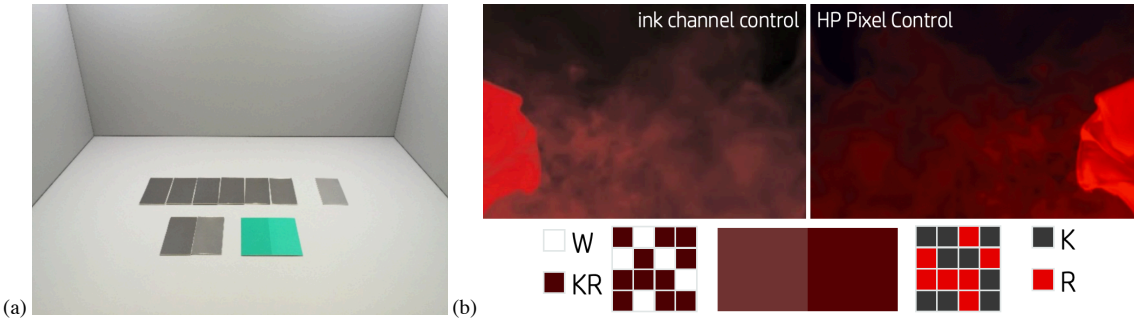


Figure 2: (a) experimental setup for deriving ΔENS color difference equations, (b) basic principle of HP Pixel Control imaging pipeline where at-pixel states, instead of only ink quantities, are controlled directly. This allows for richer dark colors resulting from side-by-side printing of black (K) and red (R) ink, which, without pixel control can be just overprinted, resulting just in a dull color.

Second, there is a fundamental re-thinking and re-engineering of how printing is controlled in the form of HP Pixel Control (internally codenamed HANS) [2, 3]. Looking at a print, it can be seen that its colors depend on the relative proportions with which the various combinations of a substrate and a set of inks are used at small scale. These substrate-ink combinations – called Neugebauer Primaries (NPs) –

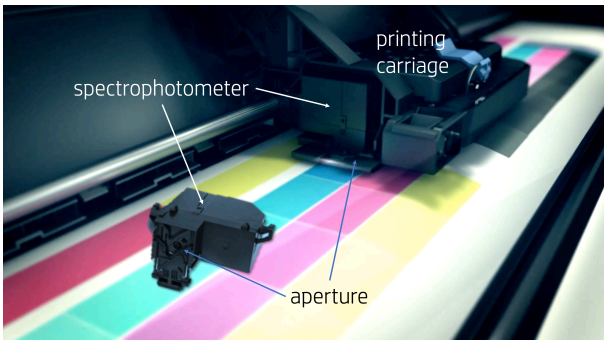
were first identified by Hans Neugebauer in the 1930s as the basic building blocks of predicting print color, which results from their convex combination:

$$T(NPac_C) = \sum_{i=1}^{k^n}(w_{Ci} * T(NP_i)) \quad (1)$$

where pattern C is formed by combining some of a printing system's NPs and can be characterized by its NP area coverage (NPac) vector – $NPac_C$, k is the number of colorant levels per colorant per pixel, n is the number of colorants, $\sum_{i=1}^{k^n} w_{Ci} = 1$ (i.e., the weights are convex), NP_i is the i-the Neugebauer Primary, and $T()$ is color (e.g., the NPs' Yule-Nielsen corrected colorimetry).

With HP Pixel Control, NPs become the control domain for printing. Instead of starting with a translation of color to colorant amounts (e.g., ink, toner, …), as has been the case with print control since the late 19th century, HP Pixel Control determines how much relative area to cover with each of a system's possible halftone pixel states – the Neugebauer Primaries. This unlocks a vast variety of ways in which printable patterns can be formed, which in turn gives access to new printable colors, more efficient colorant use and higher image quality, to name but a few (Fig. 2b). For the case of a 3 ink printer, the difference between its 3 inks (e.g., CMY) and the 8 Neugebauer Primaries that correspond to it (S – the blank substrate, C, M, Y, CM, CY, MY, CMY) is already significant, but when it comes to a printer with 14 ink channels, each of which can specify up to 3 drops per ink per pixel, the result is the ability to form patterns using over 268 million pixel types instead of 14 inks. Finally, HP Pixel Control also exercises control in terms of pixel area coverages instead of ink amount, which is the same domain in which the human visual system integrates content below the spatial acuity threshold. In the first printer with a fully-digital HP Pixel Control pipeline, the HP DesignJet Z9+, this leads to more natural looking prints, with smoother color transitions and gradations and with greater detail, all of which also makes color management and predictability perform better and enable more effective automation.

Third, there is the novel use of embedded color sensors for consistent color production. A recent example here is the on-board spectrophotometer in the HP Stitch S Series dye sublimation textile printers (Fig. 3a), which allows for a particularly efficient way of achieving consistent color output. Most of the fabrics printed using dye sublimation involve a two-step process: a print is first made on a transfer paper and the inked pattern it holds is then transferred to a fabric using a calendering machine, where under heat and pressure the ink is sublimated (becomes gaseous) and interacts with a fabric's fibers. From a color configuration and calibration perspective, such a two-stage workflow presents significant challenges and the way it is dealt with typically involves several printing-sublimation-measurement stages, which can make color setup last hours. While the appearance of the print on the transfer paper is not that of the final fabric, having an on-board spectrophotometer in the printer means that the printed color can be kept to a very high level of color consistency in a very quick and operator-free way. A calibration chart can be printed, measured in situ on paper and calibration look-up tables can be updated in a matter of minutes, saving both time and materials and again allowing for greater automation and unattendedness.

(a) 

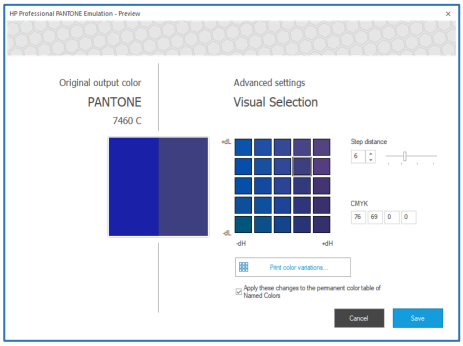
(b) 

Figure 3: (a) Spectrophotometer on-board a printing carriage, (b) HP Pantone refinement interface for visual adjustment.

Fourth, there are advances in making complex color processes simple and streamlined and thereby unlocking their benefits for a broader user base. An example here is the creation of ICC output color profiles for the HP Stitch S Series printers. Instead of exposing all of the many and complex parameters and choices of color profiling to a user, and thereby requiring that they have the necessary expertise and experience to set them, HP Easy Profiling comes with pre-configured settings that will work well for a

large proportion of applications and workflows. All that a user then has to do is trigger the profiling process, indicate for which substrate and printer it is to be run and name the resulting profile. Everything else is pre-set and executed without the need for expertise by the end user. As a result, a high level of color accuracy is made accessible to users without color expertise and the process is made quicker even for more seasoned operators. The same printer also comes with a solution to make the visual adjustment of spot color emulation faster and easier for colors outside a printing system's color gamut. Even though there are already solutions for directly identifying the visually closest color for an out–of–gamut spot color, such as the algorithm used in HP Professional PANTONE Emulation [4], there is an element of preference at play. Here a user's task can be made simpler by presenting them with the most likely alternatives to the visually closest one. This is done by sampling not the device color space of a printing system (e.g., CMYK or RGB), but by presenting alternatives from the surface of the output color gamut that vary in hue and in lightness around the visually closest choice. Offering control over the third color dimension, chroma, is not meaningful here, since it could only lead to less chromatic choices at a given lightness-hue combination, and therefore to colors that are even further away from the target.

3. Key challenges for the next 10 years of color communication

Looking ahead, four areas for future work stand out in particular. First, that of fundamentals, of being able to predict with greater accuracy and breadth of coverage richer and more varied scenarios the color resulting from a variety of processes including printing and post-processing (e.g., celendering, laminating, varnishing) and using materials like fluorescent colorants and non-white substrates. Second, that of closing the loop, of process control that involves efficient color verification and the application of vision systems capable not only of detecting spatial detects but also color changes to a high degree of accuracy and consistency. Third, that of end-to-end workflows, of connecting, guiding and auto-configuring choices, resources and processes from initial idea to final product. Here an incorporation of production constraints into the design process is a particularly challenging and promising idea. Being able to easily anticipate what a design will look like in production and getting guidance about how to adjust an initial approach so that it conveys its creators' intent would help greater predictability and allow for shortening the end-to-end journey. Working with multiple materials in a project and using multiple imaging systems to produce the same color output are also important challenges here. Fourth, that of optimization for a variety of attributes from color and image quality, via consistency to cost and resilience to production variation are all central to making color printing and other forms of color communication become more widely used in a greater variety of contexts. To make significant advances in these and other, yet to be identified, areas will require both fundamental color and imaging work and greater collaboration with other disciplines. While color communication is as old as human civilization, in many ways it is only just getting started.

Acknowledgements: I would like to thank the broader color and imaging community and especially my colleagues at HP Inc.: Africa Real, Albert Serra, Alessandro Beltrami, David Duran, Francesc Costa, Hector Gomez, Javier Maestro, Jordi Arnabat, Jordi Vilar, Konstantinos Kontonikolas, Pere Gasparin, Peter Morovič, Sergio Etchebehere, Tanausu Ramirez, Xavier Fariña.

References

[1] F. Mirjalili, M. R. Luo, G. Cui, J. Morovič, "Color-difference formula for evaluating color pairs with no separation: ΔE_{NS}", Journal of the Optical Society of America A, **36**(5), p. 789-799 (2019).

[2] J. Morovič, P. Morovič, J. Arnabat, "HANS – Controlling Inkjet Print Attributes Via Neugebauer Primary Area Coverages", IEEE Transactions on Image Processing, **21**(2), p. 688–696 (2011).

[3] P. Morovič, J. Morovič, J. Gondek, R. Ulichney, "Direct Pattern Control Halftoning of Neugebauer Primaries", IEEE Transactions on Image Processing, **26**(9):4404-4413 (2017).

[4] J. Morovič, J. Arnabat, J. Vilar, "Visually Closest Cross-Gamut Matches Between Surface Colors", *IS&T/SID 15th Color Imaging Conference*, p. 273–277 (2007).

XII CONGRESO NACIONAL DEL COLOR
LINARES, JAEN (25-27 SEPT. 2019)
3: Color en arte y arquitectura

EL TÍMPANO DE LA PORTADA DE LOS APÓSTOLES. IGLESIA ARCIPRESTAL DE SANTA MARÍA LA MAYOR DE MORELLA

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL SOBRE RÉPLICA EN 3D
DE SU POLICROMÍA GÓTICA ORIGINAL

Gemma Mª Contreras[1]; Greta García[2].

[1]Subdirectora del Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació. Generalitat Valenciana. contreras_gem@gva.es
[2]Técnico Superior en Conservación y Restauración e Investigación. Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació. Generalitat Valenciana. garcia_greher@gva.es;

RESUMEN

Desde 2016 el Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació (IVCR+i) está analizando e investigando el estado de conservación y las distintas policromías de la Portada de los Apóstoles de la Iglesia Arciprestal de Santa María de Morella (1265 - 1330). Las últimas tecnologías en estudios científicos sobre patrimonio nos han permitido conocer con exactitud la composición material, localización y conservación de los pigmentos originales que componían la decoración primigenia del tímpano de esta portada con un 85% de exactitud. Este porcentaje se ha completado con un estudio iconográfico sobre otras obras conservadas de la misma época, escuela y materiales. Esta correspondencia de policromía se ha recreado de manera exhaustiva en una reconstrucción gráfica digital y, posteriormente, se ha reproducido sobre una réplica tridimensional del tímpano. La realización de este facsímil museístico permite estudiar, comprender, divulgar y hacer accesible a toda la población el conocimiento de este bien. Además, esta reconstrucción tridimensional y colorimétrica también se ha integrado en el desarrollo de un video mapping en 3D, de alto impacto audiovisual, de la fachada completa.

LA ESCULTURA EN EL GÓTICO VALENCIANO

Con la conquista cristiana del territorio valenciano, se genera una necesidad nueva de obras de arte por la exigencia del culto naciente. Este aspecto en escultura se va solucionando en un primer momento con la llegada a estas tierras de imágenes ya esculpidas traídas por los propios conquistadores.

En paralelo a esta venida de obras, la escultura románica se va desarrollando en valencia con muy poca representación en los monumentos arquitectónicos más importantes. Ya en el siglo XIV, se aprecia que la imaginería no experimenta mucha evolución respecto al siglo anterior, aunque sí destaca la escultura monumental y la funeraria dentro de las cuales se producen obras de primer orden, en las cuales aparecen pasajes bíblicos ricamente decorados y policromados.

LA IGLESIA ARCIPRESTAL DE SANTA MARÍA LA MAYOR DE MORELLA (1265 - 1330)

La Iglesia de Santa María la Mayor posee un gran valor patrimonial en su conjunto por ser una de las construcciones pioneras de la arquitectura gótica valenciana. Entre las competencias principales de la Dirección General de Cultura y Patrimonio está velar por el estudio y la preservación del patrimonio cultural valenciano. Por ello, en 2016 se iniciaron las tareas de investigación y en mayo de 2018, comenzaron los trabajos de rehabilitación y restauración de la Portada principal de los Apóstoles y a propósito de ello la realización de un facsímil del tímpano.

La portada mayor tiene un doble interés histórico-artístico: las escenas de la vida de la Virgen que aparecen en el tímpano corresponden a una iconografía poco habitual. Este es uno de los escasos ejemplos que quedan en España de portada gótica con figuras policromadas, ya que con el tiempo se perdieron parte de las mismas siendo cubiertas por re-policromías de épocas posteriores, a pesar de ello todavía se conserva parte de esta policromía original[1].

Los trabajos de conservación y restauración han consistido en la consolidación y limpieza de las estructuras arquitectónicas que conforman la portada, así como de las esculturas y sus policromías. El estado de conservación de los materiales, tanto de la piedra como de las policromías, originales y posteriores, así como los criterios actuales de conservación y restauración, no hacen posible descubrir la totalidad de los restos de policromía original y por ello se planteó la realización de un facsímil del tímpano que las recreara.

Análisis material y estudio iconográfico de la policromía del tímpano

Parte de la reconstrucción de la policromía original del timpano se ha apoyado en los estudios científicos mediante extracción de micromuestras. El departamento científico del IVCR+i ha realizado una toma selectiva y justificada de muestras, las cuales mediante estudio estratigráfico, han permitido aportar datos relacionados con la técnica pictórica de la policromía del siglo XIV, así como la identificación de los materiales pictóricos originales, tales como pigmentos minerales o láminas metalicas, ayudando de esta manera a elaborar la recostrucción de las capas pictóricas de la policromía. El presente estudio científico ha sido necesario en todas aquellas áreas del tímpano y del friso que presentaban alteraciones químicas de los pigmentos, como en el caso de la azurita o de los pigmentos verdes a base de cobre, o en aquellas áreas con presencia de concreciones terrosas o intervenciones de repolicromía, que impedián una correcta lectura de los estratos de color.

Las muestras de policromía, oportunamente preparadas en sección estratigráfica, han sido observadas y analizadas utilizando diferentes técnicas de laboratorio como: la microscopia estereoscópica, la microscopia óptica de luz polarizada (MO vis-UV), la microscopia electrónica de barrido con microanálisis (SEM-EDX) y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Las técnicas microscópicas han sido necesarias para observar la secuencia de las policromías originales de las intervenciones de repolicromía, asimismo han permitido estudiar las caracteristicas de color, morfología y tamaño de grano de cada pigmento, las mezclas de color y observar la presencia de finas láminas metalicas de oro en los cabellos o correspondientes a motivos dorados de las vestimientas. Las técnicas espectroscópicas han

[1] Los trabajos de restauración de la fachada han sido realizados por la empresa Cyrespa.

sido necesarias para la correcta identificación, tanto química como mineralógica, de los pigmentos, metales o cargas minerales.

En cuanto a los resultados alcanzados con los estudios estratigráficos, en datos generales, la policromía original se presenta con una secuencia de estratos constituida por: 1) soporte pétreo; 2) fina capa de preparación de carbonato de calcio mezclado con compuestos silicatados; 3) imprimación blanca de albayalde; 4) estratos de color. Las policromías están generalmente constituidas por una sola capa de color, con el albayalde mezclado con los pigmentos en proporciones diferentes, para lograr los distintos matices de color. Entre los pigmentos identificados están: bermellón, minio, pigmentos tierra amarillos, rojos y pardos, azurita, pigmento verde de cobre y el negro carbón vegetal.

Como ejemplo de estudio de la policromía a través de las muchas micromuestras que se analizaron, la de la policromía azul extraída del manto de la Virgen de la escena de la *Adoración de los Reyes,* se observa en la imagen de microscopia óptica de la sección estratigráfica los siguientes aspectos: Por debajo de una serie de estratos correspondientes a la concreción superficial a base de carbonato de calcio, sulfato de calcio y tierras, se oculta la policromía original del manto realizada con pigmento azul de azurita, que en este caso se asienta sobre un estrato de negro carbón. El microanálisis EDX realizado sobre una partícula de pigmento azul, permite identificar mayoritariamente el elemento químico del cobre asociado al mineral de la azurita (carbonato básico de cobre).

Estos estudios también han puesto de manifiesto la presencia generalizada de pan de oro. La fina lámina metálica de oro se aplicó directamente sobre la policromía de las vestimentas, cabellos, alas o estrellas. Como ejemplo de este estudio, otra muestra, la extraída del manto de Cristo, la cual revela la existencia de una policromía roja a base de tierras sobre la cual se asienta el pan de oro, indicando la existencia de algún elemento decorativo dorado. En el estudio estratigráfico efectivamente se pueden observar las capas de policromía rojizas y la fina lámina metálica de oro.

Una vez obtenidos todos los resultados de los análisis materiales de laboratorio, se completó la información referente a los detalles de policromías perdidas (15% de la información) mediante la comparación con análisis de materiales de otros relieves análogos en cuanto a época, materiales y técnicas empleados. También se completó con la consulta de tratados medievales de pintura sobre piedra, lo que permitió confirmar las concordancias y advertir las diferencias obtenidas con la información de laboratorio.

Respecto a los detalles de decoraciones originales realizadas en superposición sobre bases de color, de las que evidentemente no quedan restos (coloretes de las carnaciones, decoraciones de “estofados en las telas” siguiendo patrones que se repiten, sangre de los inocentes, etc. Se recurrió a la búsqueda de imágenes y estudios de otras obras correspondientes en época, escuela, iconografía y en mejor estado de conservación, para reconstruir y recrear estas decoraciones, a fin de aproximarnos lo máximo posible al aspecto original de la policromía tal y como fue creada en el siglo XIV.

Realización del facsímil: Digitalización 3D; Proyección 3D; Reconstrucción gráfica digital; Policromado.

La empresa *Todo-3D* realizó el escaneado 3D sirviéndose de un Laser Scanner FARO S 150[2] y un equipo de escaneado de apoyo portátil, Scanner Artec EVA[3]. La digitalización 3D ha permitido obtener una reproducción tridimensional del tímpano pudiéndose así analizar cada uno de sus planos. Con esta digitalización también se ha conseguido inmortalizarla gracias a la obtención de un archivo digital.

La impresión 3D o fabricación del facsímil se realizó con un mecanizado industrial mediante robot KUKA y eje externo. El material utilizado fue EPS de baja densidad, y la preparación para policromía consistió en un acuchillado, lijado e imprimación para conseguir rugosidad de piedra. Tras ello se aplicó una preparación.

Para completar el estudio de laboratorio, se realizó una reconstrucción digital del primer momento pictórico que forma parte de la historia material del tímpano.

La coordinada colaboración entre el laboratorio, las periódicas observaciones realizadas *in situ*, el detallado registro fotográfico mediante la toma de macrofotografía y microfotografía tanto con luz directa como rasante, y el empleo de software de tratamiento de imagen, permitió que los técnicos del IVCR+i definieran un mapa completo de la distribución y localización de cada uno de los colores y decoraciones de las escenas del tímpano digital (Software icnográficos: *Adobe Photoshop* y *Adobe Illustrator*). Tras esto se dio un código a cada uno de los colores a través de un sistema de definición cromática de uso común entre el laboratorio y el taller de policromado del facsímil (*Pantone®*).

Con esta información, finalmente, la empresa *Todo-3D* recreó sobre el facsímil museable esta investigación con el policromado realizado con pigmentos aglutinados con resinas acrílicas, guiándose de los códigos de color definidos y siempre en constante diálogo y colaboración con el IVCR+i.

Realización del Video mapping con los colores originales del siglo XIV

La reconstrucción virtual de la policromía también tuvo un uso divulgativo ya que fué empleada para su proyección en un videomapping. La empresa valenciana VIDEOMAPPING-PRO utilizó la técnica del mapping (mapeo) audiovisual que consiste en un proceso en el que mediante el efecto óptico se consigue animar superficies con contenidos visuales creativos. En este caso consistió en la proyección de elementos sobre la fachada de la iglesia recreando el proceso de restauración en forma de arte visual. Para este proceso fué necesario modelar la fachada en el cual posteriormente se proyectó, pieza a pieza en formato 3D respetando sus texturas para posteriormente realizar animaciones 3D. Para ello se tomaron mediciones para

[2] Alcance del Focus S 150: 0.6 – 150m. Error de distancia: ± 1 mm. Toma de fotografías en HDR (High Dynamic Range) 2x/3x/5x. Superposición fotográfica HD de hasta 165 megapíxeles en color. Velocidad de medición: hasta 976.000 puntos/segundo. Precisión angular: 19 arco segundos en ángulos verticales/horizontales. Cámara a color integrada: hasta 165 millones de píxeles)

[3] Resolución 3D Hasta 0,3 mm. Precisión de punto 3D Hasta 0,1 mm. Precisión 3D respecto de la distancia Hasta 0,03% sobre 100 cm. Colores 24 bpp. Resolución de textura 1,3 mp. Fuente de luz Bombilla tipo flash Led (sin láser). Distancia de trabajo 0,4 – 1 m. Área de escaneado, Alto x Ancho en el rango más cercano 214 × 148 mm. Área de escaneado, Alto x Ancho en el rango más lejano 536 × 371 mm. Campo de visión angular, Alto x Ancho 30 × 21°. Relación de fotogramas de video 16 fps. Tiempo de exposición 0,0002 s. Velocidad de obtención de datos Hasta 2 000 000 puntos/s. Procesador Multi Core.

la colocación de los proyectores calculando la perspectiva óptima para la realización de video mapping.

CONCLUSIONES

La tecnología digital aplicada al patrimonio sirve para su conservación preventiva y para cambiar la actitud en el uso de la información digital (virtual y física) en la gestión y protección del patrimonio cultural e histórico.

Esta reproducción obtenida está actualmente expuesta al público, a una altura fácilmente accesible que permite su contemplación, comprensión y estudio, tanto para investigadores como para el público en general, haciendo así una labor de educación y divulgación de este bien del patrimonio cultural valenciano y haciéndolo más universal y accesible, con la consiguiente repercusión e impacto cultural y turístico.

La documentación obtenida del escaneado en 3D de la fachada, será también un elemento digital de conservación y catalogación de la misma, ya que permitiría, en caso de pérdida, deterioro o destrucción por desastre natural, acto vandálico, etc., su reconstrucción futura completamente fidedigna. También permitiría un uso del archivo digital de su contenido mediante visita virtual, en línea, facilitando así el acceso al mismo a los especialistas y académicos sin importar dónde se encuentren.

La recuperación de la policromía original también ha tenido otro uso cultural, educativo y divulgativo del patrimonio, al ser empleada para su proyección sobre la propia fachada en un videomapping.

COLABORACIONES EN LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO Y DEL TEXTO

David Juanes. Laboratorio Materiales IVCR+i
Livio Ferrazza. Laboratorio Materiales IVCR+i
Vincent Virasolvy. Estancia en el IVCR+i del Programa Eurodyssey 2018-2019
Empresa de Escaner y reproducción 3D: Todo 3D.
Empresa Video mapping 3D: VideoMaping.Pro.

AGRADECIMIENTOS

Ayuntamiento Morella
Empresa de Restauración: Cyrespa.
Arzobispado Morella
Iglesia Arciprestal de Morella

BIBLIOGRAFÍA

*AAVV. La couleur et la pierre : polychromie des portails gothiques : actes du Colloque, Amiens 12-14 octobre 2000 / sous la direction de Denis Verret & Delphine Steyaert. Amiens : Agence Régionale du Patrimoine de Picardie, 2002.
*A. Varichon. Colores. Historia de su significado y fabricación. Gustavo Gili. 2018.
*C. Varela Fernandes. Pero. O mestre das images c. 1300-1350. Imprimatur. 2018.
M. Matteini, A. Moles, La chimica nel restauro. I materiali dell'arte pittorica. Nardini Editore, 2007.
*M. Pastoureau. Figures et couleurs : études sur la symbolique et la sensibilité médiévales / Michel Pastouteau. Paris : Léopard d'Or, 1986.
*M. Pastoureau. Couleurs, images, symboles : études d'histoire et d'anthropologie / Michel Pastoureau. Paris : Léopard d'Or. 1989
*M. Pastoureau. Jésus chez le teinturier : couleurs et teintures dans l'Occident médiéval / Michel Pastoureau. Paris : Léopard d'Or, 1997.
*M. Pastoureau. Azul : historia de un color / Michel Pastoureau. Barcelona : Paidós, 2010.
*M. Pastoureau. Breve historia de los colores / Michel Pastoreau, Dominique Simonnet ; traducción de María José Furió. Barcelona [etc.] : Paidós, D.L. 2006.
*S. Volpin, L. Appolonia, Le analisi di laboratorio applicate ai beni artistici policromi, Collana i Talenti, Il Prato, 1999.

IMÁGENES





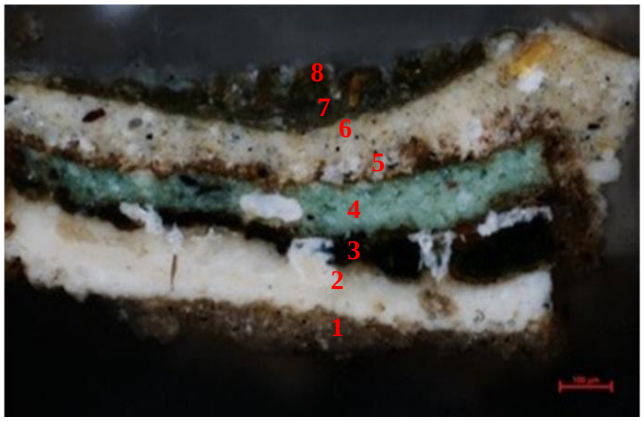
Fachada. Fuente: IVCR+i
Portada de los Apóstoles. Fuente: IVCR+i





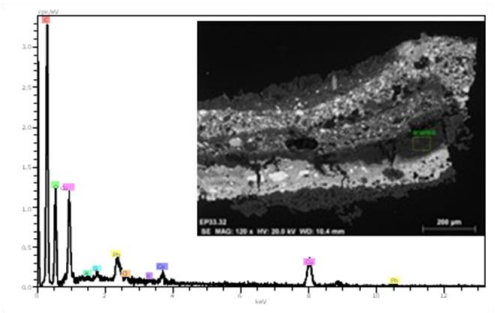
Proceso de estudio y análisis de la policromía del tímpano de la portada de los apóstoles. Fuente: IVCR+i
Estudio frente al tímpano original. Fuente: IVCR+i



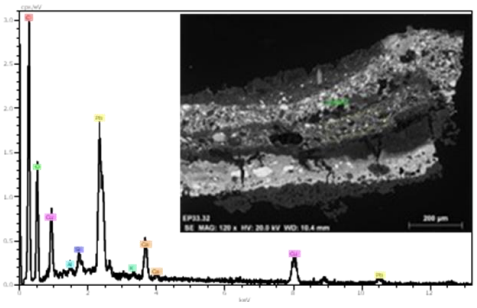


Portada de Los Apóstoles, friso, escena de la Adoración de los Reyes. Punto de extracción de la muestra EP33.32. Manga del Rey.
Sección estratigráfica de la muestra extraída de la manga del Rey. Microscopía óptica con fuente de luz visible, 20X.
Fuente: Laboratorio de materiales IVCR+i

8.- Pardo. Muy orgánico. Velaura, posible resinato de cobre.
7.- Verde grisáceo. Pigmento verde de cobre con poco albayalde y oropimente.
6.- Blanco amarillento. Albayalde, pigmentos tierras, oropimente. Policromía.
5.- Pardo, muy fino. Orgánico. Posible capa aislante o barniz.
4.- Verde claro. Albayalde con pigmento verde de cobre. Policromía.
3.- Verde oscuro. Muy orgánico con presencia de cobre. Resinato de cobre. Policromía.
2.- Blanco. Albayalde. Imprimación.
1.- Grisáceo. Carbonato de calcio, tierras. Preparación.



Sección estratigráfica observada y analizada con SEM- EDX.
El microanálisis de la capa de **policromía de tonalidad**
verde oscuro detecta un alto contenido en carbono (material orgánico) y cobre.
El resultado indicaría la presencia de **resinato de cobre**.



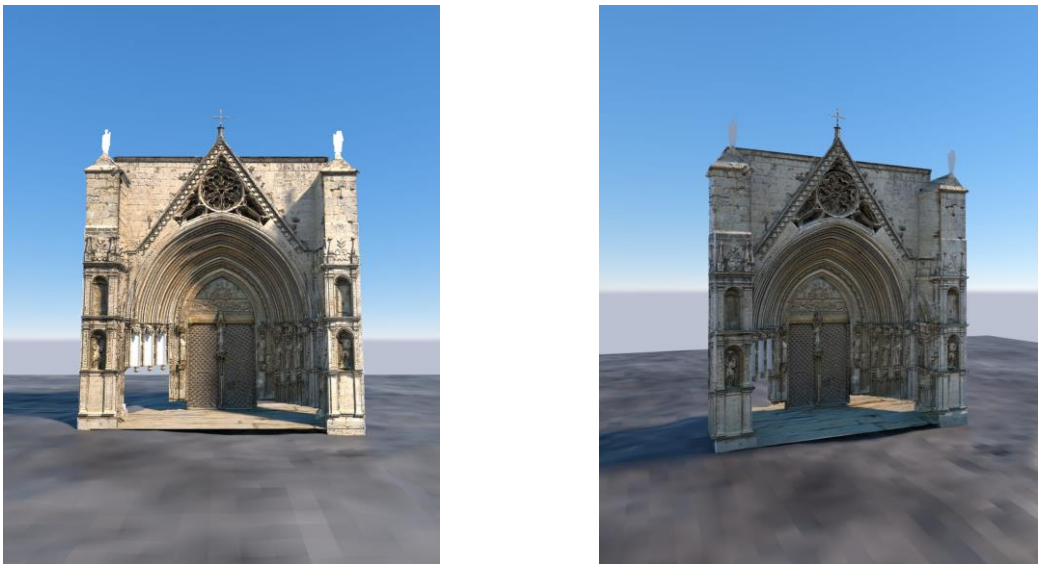
Sección estratigráfica observada y analizada con SEM- EDX.
El microanálisis de la capa de policromía de tonalidad
verde claro detecta plomo y cobre.
El resultado indicaría la presencia albayalde mezclado con un pigmento a base de verde de cobre.



Proceso seguido en la investigación. Fuente: IVCR+i



Proceso seguido en la investigación. Fuente: IVCR+i



Modelado en 3D de la portada completa para la creación del videomapping. Fuente: VIDEOMAPPING-PRO.

Los daltónicos dicrómatas no tienen menor constancia de color que los observadores con visión normal cuando cambia la temperatura cromática de los iluminantes naturales (daylight) y se contemplan escenas naturales

Julio Lillo[1], Leticia Álvaro[1], Humberto Moreira[1], João M.M. Linhares[2], y Sérgio M.C. Nascimento[2]

[1]*Facultad de Psicología, Universidad Complutense de Madrid, 28223 Pozuelo de Alarcón, España*

[2]*Centre of Physics, Campus de Gualtar, University of Minho, 4710-057 Braga, Portugal*

1. Introducción

El color con el que ven las superficies de una escena depende de su reflectancia y, también, de la iluminación que reciben. Las variaciones cotidianas en la iluminación solar producen, inevitablemente, grandes cambios estimulares que, sin embargo, influyen relativamente poco en nuestra percepción del color. Esto es, nuestras experiencias cromáticas son relativamente estables (constancia parcial de color) en entornos donde se dan cambios importantes en la iluminación. En la actualidad se conoce mucho sobre el funcionamiento de la constancia parcial de color en personas con visión normal [1]. Esta situación todavía no se da para los daltónicos dicromatas, un tipo de personas con visión cromática reducida relativamente frecuente . Tal reducción se debe a que: (A) carecen de un tipo de cono retiniano (L para los protanopes, M para los deuteranopes). Por lo anterior, (B) carecen o tienen muy alterada la capacidad de respuesta en el mecanismo verde-rojo, aunque no en el azul-amarillo.

La famosa descripción [2] de Dalton (un deuteranope) sobre cómo cambiaba su percepción del color al cambiar la iluminación de un geranio con flores rosas es, probablemente, la más influyente evidencia para pensar que la constancia de color es poco eficaz ("robusta") en daltónicos. Por otra parte, algunas investigaciones recientes han mostrado que esta puede ser, al menos, tan eficaz como la que aparece en observadores con visión normal cuando los cambios se dan entre iluminantes naturales [3], ("daylight") o cuando se iluminan escenas naturales [4]. Nuestra investigación es la primera que evalúa la robustez de la constancia de color en daltónicos en las situaciones más naturales posibles: variación entre iluminantes naturales que iluminaban escenas también naturales.

Las escenas utilizadas (dos rurales, dos urbanas) procedieron de una base de datos que facilitó simular las estimulaciones proporcionadas (luminancias y cromaticidades) por las cuatro escenas al variar la iluminancia y temperatura correlacionada del color (TCC) de iluminantes tipo luz día. Las simulaciones se presentaron mediante un monitor CRT convenientemente calibrado. En un primer experimento se midieron los umbrales precisos para detectar cambios puros en luminancia o cromaticidad (temperatura del color). En el segundo se evaluó la capacidad de los dos tipos de participantes (daltónicos y controles) para diferenciar estos dos tipos de cambio estimular.

2. Método

2.1. Participantes

Once observadores (cuatro tricrómatas normales, tres protanopes y cuatro deuteranopes) participaron en la investigación. El diagnóstico de la visión del color se efectuó a partir del Farnsworth-Munsell 100 hue colour vision test, el Cambridge Colour Test, el Color Assessment & Diagnosis (CAD) test, una adaptación del Universal Colour Discrimination Test (UCDT) y los ajustes tipo Rayleigh realizados en un anomaloscopio (Oculus HMC).

2.2. Estímulos

Las imágenes hiperespectrales de las escenas utilizadas en el experimento se obtuvieron a partir de una base de datos existente [6]. Se utilizaron cuatro escenas, dos de ambientes rurales y otras dos de ambientes urbanos, presentadas en un monitor CRT calibrado, que proyectaban un tamaño de 10° a lo largo del eje horizontal a una distancia de 60 cm. Para simular el efecto de distintos iluminantes, el espectro de reflectancia de cada píxel de cada escena se multiplicó por el espectro del iluminante. La simulación de los iluminantes día con diferente temperatura correlacionada del color (TCC) se realizó a partir de las funciones base de Judd [7]. En el experimento 1 hubo dos condiciones. En la condición de cambio de la TCC, esta osciló entre 4012 y 41231 K (249,25-24,25 MK^{-1}, en 10 pasos de 25 MK^{-1}), como puede verse en la Fig. 1, manteniéndose constante la luminancia media en 10 cd/m^2. En la condición de cambio de la luminancia media, esta osciló entre 6 y 15 cd/m2 (en 10 pasos de 1 cd/m2), manteniéndose constante la TCC en 6700 K (149,25 MK^{-1}).

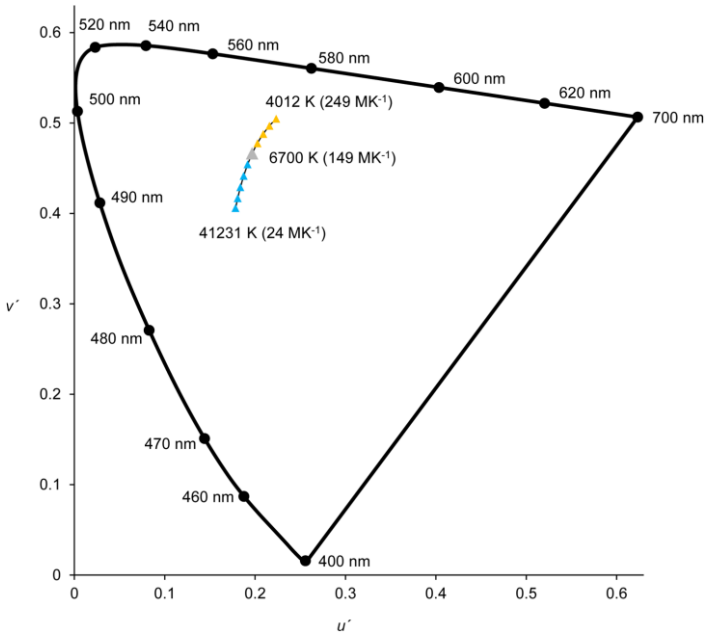


Figura 1: Cromaticidad de los iluminantes día utilizados en la condición 1 del primer experimento. Se muestra el iluminante de referencia (D67), junto con los iluminantes de mayor (triángulos azules) y menor (triángulos amarillos) temperatura correlacionada del color (TCC). El rango de variación de la TCC osciló entre 4012 y 41231 K (249,25-24,25 MK^{-1}, en pasos de 25 MK^{-1}).

2.3. Aparatos

Las imágenes de las escenas se presentaron en un monitor Sony-GDM F520 (Sony Corporation, Tokyo, Japón) controlado mediante una tarjeta ViSaGe (Visual Stimulus Generator; Cambridge Research Systems, Rochester, Kent, UK). La calibración del monitor se efectuó mediante un espectrorradiómetro (PR-650 SpectraScan; Photo Research, Chatsworth, CA). Se utilizó una consola de respuesta CB6 para registrar las respuestas de los observadores (Cambridge Research Systems, Rochester, Kent, UK).

2.4. Procedimiento

Ambos experimentos se realizaron en una habitación en condiciones de oscuridad. Al comienzo de cada sesión, los observadores se adaptaban a un fondo gris de 6700 K y 10 cd/m^2 durante cinco minutos. En el experimento 1 se midieron los umbrales para detectar un cambio en la TCC o en la luminancia del iluminante empleando una tarea de elección forzada entre 2 alternativas: se presentaba la escena de referencia, y posteriormente, de forma secuencial, dos escenas de comparación. Una de ellas era idéntica a la de referencia, y la otra variaba, bien en TCC, bien en luminancia media. La tarea de los observadores era indicar cuál de las dos escenas de comparación era diferente a la escena de referencia.

En el experimento 2 se midió la precisión de los observadores para identificar si el cambio presentado era un cambio en intensidad. Se presentaba la escena de referencia, y posteriormente una escena de

comparación en la que se variaba la TCC o la intensidad de dicha escena, ajustando la magnitud del cambio de forma individualizada para cada observador, para asegurar que el cambio era supra-umbral.

3. Resultados

La Fig. 2 representa la media de los umbrales obtenidos en el experimento 1 para detectar cambios en TCC (A) y en luminancia (B) para tricrómatas normales (N), protanopes (P) y deuteranopes (D). Por simplicidad, se presentan las medias de los umbrales obtenidos para las cuatro escenas. El color de las barras codifica la dirección del cambio: hacia una TCC mayor (barras azules) o menor (barras amarillas), o hacia una luminancia mayor (barras grises más claras) o menor (barras grises más oscuras).

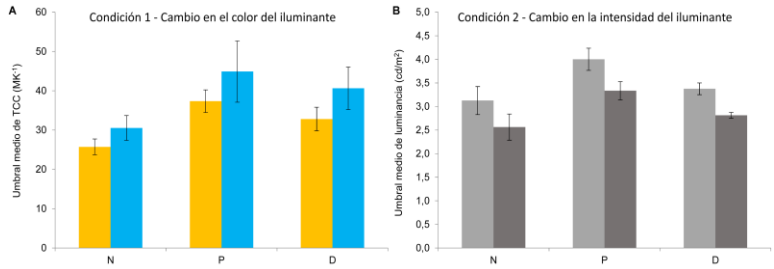


Figura 2: Media de los umbrales de discriminación del iluminante obtenidos en el experimento 1. Se muestra la media de los umbrales para la condición 1 (A: cambio de TCC; barras azules, aumento de la TCC; barras amarillas, decremento de la TCC) y para la condición 2 (B: cambio de intensidad; barras gris claro, aumento de la luminancia; barras gris oscuro, decremento de la luminancia,) para tricrómatas normales (N), protanopes (P) y deuteranopes (D) a través de las cuatro escenas. Las barras de error muestran el error típico de la media (SEM).

Se efectuó un ANOVA mixto tomando el grupo de observadores (tricrómatas normales, protanopes y deuteranopes) como factor intersujeto, la dirección del cambio (incremento o decremento), y la escena (1, 2, 3, 4) como factores intrasujeto, y los umbrales de discriminación (de la TCC o de la luminancia) como variable dependiente. Los resultados no fueron estadísticamente significativos para ninguno de los factores ni sus interacciones ($p > 0{,}05$) en el caso de los umbrales de discriminación de la TCC del iluminante. Para aumentar la potencia estadística, se repitió el análisis pero combinando los dos grupos de dicrómatas en uno solo. Este análisis reveló un efecto significativo del grupo de observadores [$F(1,9) = 6.90$, $p < 0{,}05$, $\eta^2 = 0{,}43$]: los umbrales fueron mayores para el grupo de dicrómatas (38.60 MK^{-1}) comparados con los tricrómatas normales (28.13 MK^{-1}). No se encontraron diferencias significativas respecto a los otros factores ni sus interacciones ($p > 0{,}05$). Los resultados relativos a los umbrales de discriminación de la luminancia tampoco arrojaron diferencias significativas para ninguno de los factores principales (grupo, dirección del cambio, y escena).

Para descartar que los observadores dicrómatas estuvieran utilizando su particular percepción de la intensidad (su función de eficiencia espectral difiere de la de los observadores tricrómatas normales) como una clave para detectar los cambios en TCC, el experimento 2 requirió a los observadores que identificaran si el cambio presentado entre la escena de referencia y la escena de comparación era un cambio de intensidad o no. La Fig. 3 representa la proporción media de los aciertos obtenidos en el experimento 2 al identificar el tipo de cambio cuando se presentaban cambios en TCC (A) y en luminancia (B) para tricrómatas normales (N), protanopes (P) y deuteranopes (D). Por simplicidad, se presentan las proporciones medias de aciertos obtenidas para las cuatro escenas. Como en la Fig. 2, el color de las barras codifica la dirección del cambio: hacia una TCC mayor (barras azules) o menor (barras amarillas), o hacia una luminancia mayor o menor (barras grises más claras o más oscuras).

Se efectuó un ANOVA mixto tomando el grupo de observadores (tricrómatas normales, protanopes y deuteranopes) como factor intersujeto, el tipo de cambio (en TCC o en luminancia), la dirección del cambio (incremento o decremento), y la escena (1, 2, 3, 4) como factores intrasujeto, y la proporción de aciertos al identificar si el cambio era o no un cambio en luminancia como variable dependiente. No se encontraron diferencias significativas entre los grupos de observadores, ni para el tipo de cambio, ni la dirección del cambio. Únicamente se encontraron diferencias significativas para la escena [$F(3,24) = 3{,}52$, $p < 0{,}05$, $\eta^2 = .31$], y para la interacción entre el tipo de cambio y la dirección del cambio [$F(1,8) = 8{,}32$, $p < 0{,}05$, $\eta^2 = .51$] (ninguna otra interacción resultó ser estadísticamente significativa). Para aumentar la potencia estadística, se repitió el análisis pero combinando los dos grupos

de dicrómatas en uno solo. Este análisis no reveló diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los factores ni para sus interacciones ($p < 0{,}05$).

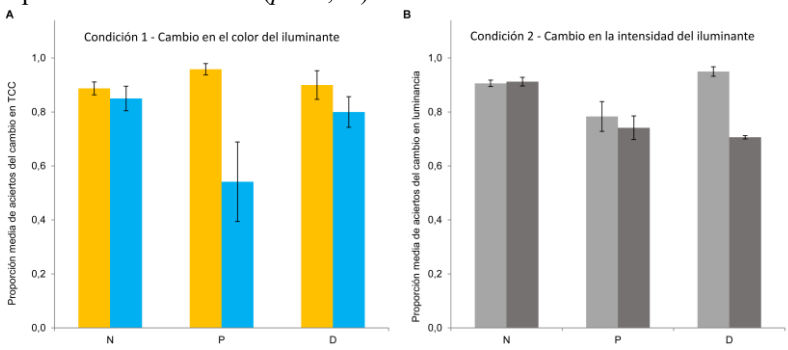


Figura 3: Proporción media de aciertos obtenida en el experimento 2. Se muestra la proporción media de aciertos para la condición 1 (A: cambio de TCC; barras azules, aumento de la TCC; barras amarillas, decremento de la TCC) y para la condición 2 (B: cambio de intensidad; barras gris claro, aumento de la luminancia; barras gris oscuro, decremento de la luminancia) para tricrómatas normales (N), protanopes (P) y deuteranopes (D) a través de las cuatro escenas. Las barras de error muestran el SEM.

4. Discusión

En una situación de constancia completa, los cambios estimulares producidos por los cambios en la iluminación no producen cambios perceptivos y, por tanto, no se aprecian. Tal situación no se dio en nuestra investigación, ya que fue posible la medición y comparación de cambios puros en, respectivamente, temperatura del color y luminancia media (experimento 1) tanto para dicrómatas como para observadores con visión normal. No menos importante, se comprobó (experimento 2) que los dicrómatas diferenciaban estos dos tipos de cambio. Por tanto, la robusta constancia de color encontrada para cambios en la temperatura del color (mayor para los dicrómatas), no pudo explicarse en base a su respuesta ante cambios estimulares cuantitativos. En conclusión, para la combinación iluminantes-entornos naturales, los daltónicos dicrómatas muestran una constancia de color igual o superior a la de los tricrómatas comunes. Este hecho, sin duda, facilita el uso de estímulos cromáticos en situaciones altas en validez ecológica (escenas e iluminantes naturales). Puede consultarse una descripción completa de la investigación en la publicación [7].

Bibliografía

[1] D. H. Foster “Color constancy”, Vision Res., **51**, p. 674-700 (2011). https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.09.006

[2] D. M. Hunt, K. S. Dulai, J. K. Bowmaker, J. D. Mollon, “The Chemistry of John Dalton's Color-Blindness”, Science, **267**, p. 984-988 (1995).

[3] B. Pearce, S. Crichton, M. Mackiewicz, G. D. Finlayson, A. Hurlbert, “Chromatic Illumination Discrimination Ability Reveals that Human Colour Constancy Is Optimised for Blue Daylight Illuminations” PLoS One, **9**: e87989 (2014). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087989

[4] R. C. Baraas, D. H. Foster, K. Amano, S. M. C. Nascimento, “Protanopic observers show nearly normal color constancy with natural reflectance spectra”. Visual Neurosci, 21, p. 347-351 (2004).

[5] D. H. Foster, K. Amano, S. M. C. Nascimento, M. J. Foster, “Frequency of metamerism in natural scenes”. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis, **23**: p. 2359-2372 (2006).

[6] D. B. Judd, D. L. MacAdam, G. Wyszecki, “Spectral distribution of typical daylight as a function of correlated color temperature”. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis **54**: 1031-1040 (1964).

[7] L. Álvaro, J. M. M. Linhares, H. Moreira, J. Lillo, S. M. C. Nascimento, “Robust colour constancy in red-green dichromats”. PLoS ONE **12**(6): e0180310 (2017). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180310

Desarrollo de sistema óptico para la medida de la translucidez

Néstor Tejedor Sierra[2*], Alejandro Ferrero Turrión[1], José Luis Velázquez Molinero,[1] y Joaquín Campos Acosta[1]

[1]*Instituto de Óptica "Daza de Valdés" (IO, CSIC), Agencia Estatal CSIC, Madrid*

[2]*Falcultad de Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Madrid*

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

1. Introducción

La translucidez de los objetos viene determinada por su absorción (coeficiente de absorción), su capacidad de desviar la luz (coeficiente de *scattering*), y por la probabilidad de que la desvíe hacia las distintas direcciones (función de fase) [1]. Un fotón que incida en el punto P sobre un objeto desde una dirección r puede penetrar en su interior, sufrir un número indeterminado de eventos de scattering, y finalmente volver a emerger por un punto P' en una dirección **r'**. La función de distribución f(P, **r** ; P', **r'**) que describe tal proceso (conocida en la bibliografía como bidirectional subsurface scattering reflectance distribution, BSSRDF) permite obtener la función de fase y los coeficientes de absorción y *scattering* de un material a partir de la *Radiative Transfer Equation*. Sin embargo, su determinación experimental no es sencilla, pues requiere grados de libertad angulares y espaciales, y, si se quiere estudiar la importante dependencia con la longitud de onda, también espectrales. Hasta ahora no se conocen sistemas de medida de calidad metrológica para la BSSRDF. El propósito de esta línea de investigación, aún muy incipiente, es establecer la serie de procedimientos experimentales para una medida trazable.

La BSSRDF se define como el factor de proporcionalidad entre un elemento de radiancia emergente $\mathrm{d}L_\mathrm{r}(\mathbf{x}_\mathrm{r};\mathbf{r}_\mathrm{r})$ y un elemento de flujo radiante incidente $\mathrm{d}\Phi_\mathrm{i}(\mathbf{x}_\mathrm{i};\mathbf{r}_\mathrm{i})$:

$$\mathrm{BSSRDF}(\mathbf{x}_\mathrm{i},\mathbf{r}_\mathrm{i};\mathbf{x}_\mathrm{r},\mathbf{r}_\mathrm{r}) = \frac{\mathrm{d}L_\mathrm{r}(\mathbf{x}_\mathrm{r};\mathbf{r}_\mathrm{r})}{\mathrm{d}\Phi_\mathrm{i}(\mathbf{x}_\mathrm{i};\mathbf{r}_\mathrm{i})} \tag{1}$$

donde $\mathbf{x}_\mathrm{i}$ y $\mathbf{x}_\mathrm{r}$ son vectores que definen las posiciones del área irradiada y el área emisora, respectivamente, mientras que $\mathbf{r}_\mathrm{i}$ y $\mathbf{r}_\mathrm{r}$ son las direcciones de incidencia y emisión (Fig. 1).

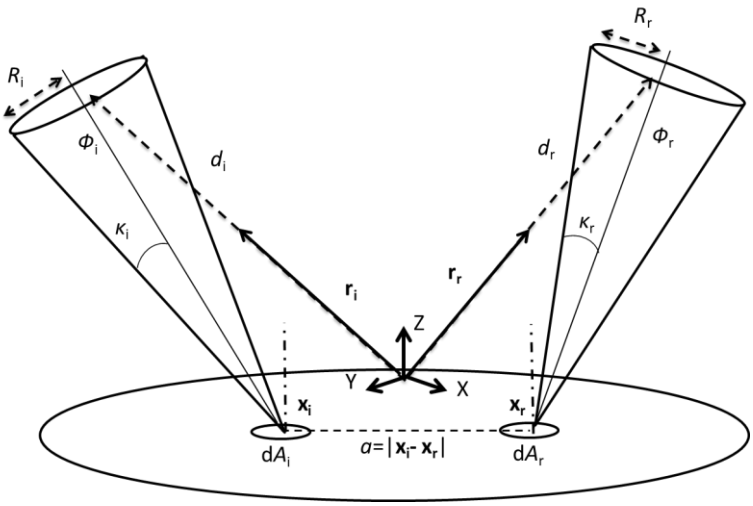


Figura 1: Variables geométricas implicadas en la definición de la BSSRDF.

* *e-mail*: nestorte@ucm.es

2. Trabajo previo

El Instituto de Óptica del CSIC ha diseñado y desarrollado un instrumento de medida que permite medir la luz esparcida por las superficies para cualquier dirección de iluminación y hacia cualquier dirección de observación, y para cualquier longitud de onda del visible [2,3]. Además el instrumento dispone de una cámara que aporta los grados de libertad espaciales. Este instrumento, que ya ha sido validado para la medida de otras magnitudes de reflectancia, como la BRDF, permitiría la medida de la BSSRDF. Pero antes se deben realizar una serie de adaptaciones, optimizaciones y caracterizaciones. El punto más crítico de esta medida es conseguir iluminar la muestra con una mancha muy pequeña (décimas de micrómetros), y ser capaz de realizar medidas eficientes y con bajo ruido. El ruido se puede reducir aumentando el tiempo de exposición (tiempo total de llegada de fotones en una medida), lo que aumentará el tiempo de medida.

3. Optimización del sistema de adquisición de imagen

Se han realizado una serie de pruebas para determinar cuáles son las mejores condiciones de adquisición con nuestra cámara para obtener un buen compromiso entre el tiempo de exposición y el ruido de la señal. El tiempo de exposición debe ser reducido para poder explorar en un tiempo asumible una gran cantidad de geometrías de medida, algo fundamental para poder obtener de la BSSRDF la función de fase. Se comprobó que el ruido de lectura de la cámara era superior a su ruido térmico hasta los dos segundos de tiempo de integración. A partir de dos segundos, el ruido térmico domina, y deja de ser constante el ruido de la señal con el tiempo de integración (tiempo total de llegada de fotones durante una *adquisición de cámara*) (Fig. 2). En tales condiciones, cuando el ruido de lectura no es limitante, es posible aumentar el tiempo de exposición realizando múltiples exposiciones a tiempos de integración bajos, sin aumentar el ruido de la señal por la suma cuadrática de los ruidos de lectura en cada imagen utilizada. Esto lo tuvimos en cuenta a la hora de diseñar un algoritmo de alto rango dinámico basado en la multiexposción. Este algoritmo permite variar la profundidad del rango dinámico a conveniencia, y dicho parámetro se eligió para encontrar el compromiso entre tiempo de adquisición y ruido. Los resultados se mostrarán en mayor detalle durante el congreso.

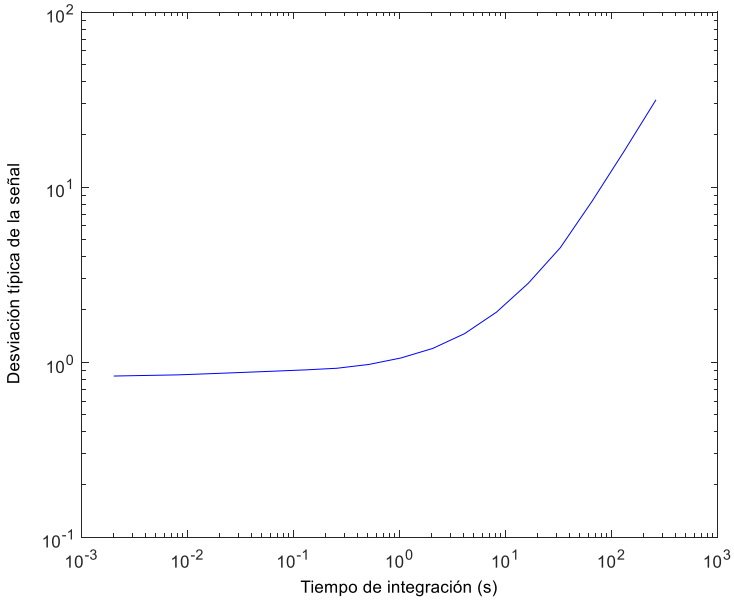


Figura 2: Variación del ruido relativo de la cámara con respecto al tiempo de integración.

4. Trabajo futuro

Una vez optimizadas las condiciones de adquisición, debemos caracterizar el punto de luz con que se iluminarán las muestras translúcidas, de manera que quede claro cuándo su perfil es modificado por la muestra (por *scattering* en volumen), y cuando simplemente se observa el perfil PSF característico. Será también el momento de establecer las fuentes de incertidumbre. También se ha de estudiar la linealidad de la cámara. Cuando todo este proceso de caracterización haya concluido, se medirá la BSSRDF a distintas geometrías de medida, para varios ángulos de iluminación y distintas longitudes de onda, de manera que, a partir de estas medidas de calidad metrológica, sea posible obtener características fundamentales de las muestras translúcidas, como son el coeficiente de *scattering*, el de absorción y la función de fase.

Agradecimientos: Este trabajo fue realizado dentro del Proyecto EMPIR 18SIB03 BxDiff "New quantities for the measurement of appearance". *The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States*.

Bibliografía

[1] C. Donner, J. Lawrence, R. Ramamoorthi, T. Hachisuka, H. W. Jensen, S. Nayar, "An empirical BSSRDF model", ACM Transactions on Graphics (TOG), **28**(3), 30 (2009).

[2] A. M. Rabal, A. Ferrero, J. Campos, J. L. Fontecha, A. Pons, A. M. Rubiño, A. Corróns, "Automatic gonio-spectrophotometer for the absolute measurement of the spectral BRDF at in-and out-of-plane and retroreflection geometries", Metrologia, **49**(3), p. 213 (2012).

[3] B. Bernad, A. Ferrero, A. Pons, M. L. Herranz, J. Campos, "Upgrade of goniospectrophtometer GEFE for near-field scattering and fluorescence radiance measurements", in Measuring, Modeling, and Reproducing Material Appearance 2015 (Vol. 9398, p. 93980E).

Cómo realizar una correcta gestión del color en sistemas de realidad virtual

Halina Cwierz[1], Francisco Díaz-Barrancas[1], P. J. Pardo[1], A. L. Pérez[2*] y M. I. Suero[2]

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

[2]*Departamento de Física, Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias, Avda. de Elvas s/n, Badajoz E06071, España*

http://grupoorion.unex.es

1. Introducción

La realidad virtual (VR) intenta representar en tiempo real escenas de la realidad, que se reconstruyen en los dispositivos informáticos mediante diferentes plataformas. Pero ¿cómo gestionan estas plataformas, internamente el color? Y ¿hasta qué punto son un fiel reflejo de la realidad?

Los sistemas de gestión del color establecen una serie de transformaciones colorimétricas, que permiten trasladar las coordenadas de un estímulo cromático de los espacios de color independientes del dispositivo (CIE XYZ, CIE Lab) a los espacios de color dependientes del dispositivo (RGB, CMYK) y viceversa. Todas estas transformaciones matemáticas requieren un tiempo de cálculo a menudo demasiado largo, ya que los valores de resolución y frecuencia de actualización de los dispositivos de realidad virtual son tales que la gestión del color se vuelve inviable desde el punto de vista técnico, ya que es necesario vincular varias transformaciones colorimétricas. En este trabajo se analiza cómo realizar una correcta gestión del color en un sistema de VR usando las posibilidades que nos ofrece *Unity* [1] para trabajar en entornos virtuales, junto con la última versión comercial de las gafas de realidad virtual *Oculus Rift* (CV1). Este dispositivo de visualización cabeza-arriba (HUD: Head-Up Display) está equipado con dos pantallas personalizadas, una por lente, fabricada por Samsung Display Co. Estas pantallas son del tipo AMOLED con una resolución nativa de 1200 x 1080 píxeles, 3.51" de tamaño diagonal y una densidad de píxeles resultante de 456 ppp.

El objetivo es incorporar un Sistema de Gestión de Color (CMS) en el software de Unity, cuyo espacio de color nativo es RGB. Partiremos de la caracterización cromática del dispositivo de visualización HUD mencionado anteriormente y la definición del perfil colorimétrico asociado a él. El cálculo de este perfil ICC se presentó como póster en la XIV Conferencia del Color [2]. Se usará la biblioteca de gestión de color *LittleCMS* [3] y mediante transformaciones colorimétricas calcularemos los valores triestímulos de diferentes fuentes de luz, caracterizadas por su distribución espectral de potencia. Posteriormente, aplicaremos una transformación de color desde el espacio de color CIE XYZ 1931 al espacio de color RGB nativo de Unity, a través de los perfiles ICC y del sistema de gestión del color. Con todo esto pretendemos mejorar la sensación de realismo en los entornos de realidad virtual, mejorando la reproducción del color en el entorno de VR de Unity.

2. Metodología

Esta comunicación tiene una doble finalidad, compartir los resultados obtenidos en nuestros trabajos de investigación a la comunidad científica, y servir como tutorial a la misma comunidad científica para poder iniciarse en la gestión del color en dispositivos de realidad virtual. Por lo tanto, en esta sección explicaremos paso a paso, cómo se ha construido la escena en Unity, el software necesario para poder gestionar el color en un entorno virtual y una explicación detallada del uso de las funciones de la biblioteca *LittleCMS*.

* *e-mail*: aluis@unex.es

Pasos a seguir para realizar una correcta gestión del color en un entorno virtual con *Unity*:

1. Descargar de la página de Little cms la última versión del código. Descomprimir y compilar la última solución propuesta (Projects\VC2017\lcms2.sln) en Visual Studio, para las dos arquitecturas, x86 y x86_64. De esta compilación obtendremos dos archivos lcms2.dll. Estas librerías son fundamentales para que en nuestro proyecto de Unity podamos utilizar las funciones para gestionar el color que proporciona *Little CMS*.
2. Crear un nuevo proyecto 3D en Unity, incluir el *Asset "Oculus Integration*" para poder trabajar con el soporte avanzado de renderizado, social, plataforma, audio y desarrollo de Avatares para dispositivos *Oculus* VR y algunos dispositivos Open VR soportados. Este *Asset* se puede descargar de forma gratuita de la página de *UnityAssetStore*.
3. El perfil ICC de *Oculus Rift* hay que incluirlo en la carpeta Resources\Sprites de Assets, si no existiera, es necesario crearla. Con estos pasos previos, ya tendríamos el soporte software básico para que podamos usar los métodos que proporciona la librería *Little CMS* y un entorno virtual para *Oculus Rift*.

En nuestro trabajo de investigación, hemos simulamos una cabina de iluminación LED *Just Normlicht*. Esta cabina incorpora 12 puntos de luz LED distribuidos en dos filas, que han sido simuladas en la versión virtual de la cabina, como se puede ver en la Figura 1

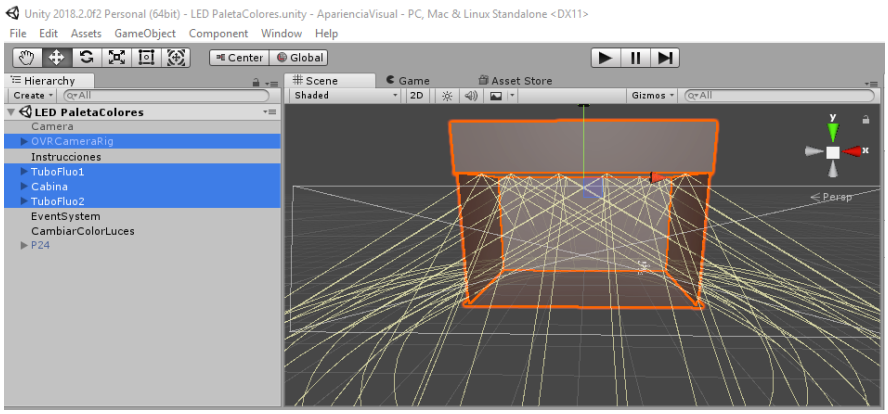


Figura 1: Simulación de cabina y focos en Unity

Se ha creado un nuevo script "*CambiarLuz.cs*" en lenguaje C# desde el menú Crear en la parte superior izquierda del panel Proyecto o seleccionando *Assets* > *Create* > *C# Script* desde el menú principal. En este script se ha cambiado el comportamiento de las luces de la cabina, para adaptarlos a nuestra gestión del color, usando las funciones que nos proporciona la librería Little CMS. Toda la documentación sobre las funciones y tipos de datos de esta librería, se puede consultar en los archivos PDF que se obtienen cuando se descarga el software.

Para poder usar cualquier función de esta librería en un script de *Unity*, hay que escribir antes de la función una llamada a la importación: [*DllImport ("lcms2")*] y, a continuación, la función que se usará en el script. Podemos ver un ejemplo en la Figura 2.

```
//crear un perfil por defecto de tipo XYZProfile
[DllImport ("lcms2")]
private static extern IntPtr cmsCreateXYZProfile();
//crear un perfil por defecto de tipo _sRGBProfile
[DllImport ("lcms2")]
private static extern IntPtr cmsCreate_sRGBProfile();
```

Figura 2: Ejemplo para usar funciones de LittleCMS en un script de Unity

A continuación, se detallan las funciones implementadas más relevantes, relacionadas con la gestión del color. Hay que aclarar que todas las funciones de esta librería se pueden sobrecargar y adaptarlas a los tipos de datos con los que vayamos a trabajar en nuestro proyecto.

Funciones para acceder a los perfiles ICC

Abrir un perfil ICC desde un fichero
cmsHPROFILE *cmsOpenProfileFromFile* (const char *ICCProfile, const char *sAccess);
private static extern IntPtr cmsOpenProfileFromFile (string perfilicc, string lectura);

```
//usamos el perfil de Oculus
rutaicc2 = Application.dataPath + "/Resources/Sprites/Oculus.icc";
hInProfile = cmsOpenProfileFromFile (rutaicc2, "r");
```

Figura 3: Ejemplo para usar al perfil de Oculus

Crear un perfil XYZ por defecto
cmsHPROFILE *cmsCreateXYZProfile* (void);
private static extern IntPtr cmsCreateXYZProfile();

```
//Crear un perfil XYZ por defecto
XYZProfile = cmsCreateXYZProfile ();
```

Figura 4: Ejemplo para crear un perfil XYZ por defecto

Funciones para realizar transformaciones del color

Crear una transformación de color
cmsHTRANSFORM *cmsCreateTransform* (cmsHPROFILE Input, cmsUInt32Number InputFormat, cmsHPROFILE Output, cmsUInt32Number OutputFormat, cmsUInt32Number Intent, cmsUInt32Number dwFlags);
private static extern IntPtr *cmsCreateTransform* (IntPtr hInProfile, uint tipo1, IntPtr hOutProfile, uint tipo2, uint INTENT_PERCEPTUAL, uint cero);

Aplicar una transformación de color
void *cmsDoTransform* (cmsHTRANSFORM hTransform, const void * InputBuffer, void * OutputBuffer, cmsUInt32Number Size);
private static extern void *cmsDoTransform* (IntPtr Transform,ref cmsCIEXYZ InputBuffer,byte [] OutputBuffer,int size);

```
TYPE_XYZ_DBL= 4784152;
TYPE_RGB_8=262169;
xyzToRGBtransform = cmsCreateTransform (XYZProfile, TYPE_XYZ_DBL, hInProfile, TYPE_RGB_8, 3, 0);
cmsDoTransform (xyzToRGBtransform, ref xyz, rgb2, width * height);
```

Figura 5: Ejemplo de creación y aplicación de una transformación del color de XYZ a RGB

Con estas funciones implementadas en el código, ya es posible aplicar las transformaciones colorimétricas necesarias para realizar una correcta gestión del color

3. Resultados

Para comprobar la funcionalidad de nuestro sistema, se ha implementado el script "*CambiarLuz.cs*" para calcular los valores XYZ de varias fuentes de luz, a partir de su distribución espectral de potencia y el

espacio de color triestímulo CIE 1931. Usando las funciones que proporciona *LittleCMS* se han convertido los valores XYZ a RGB y se han aplicado a los focos de luz de la escena, Figura 6.

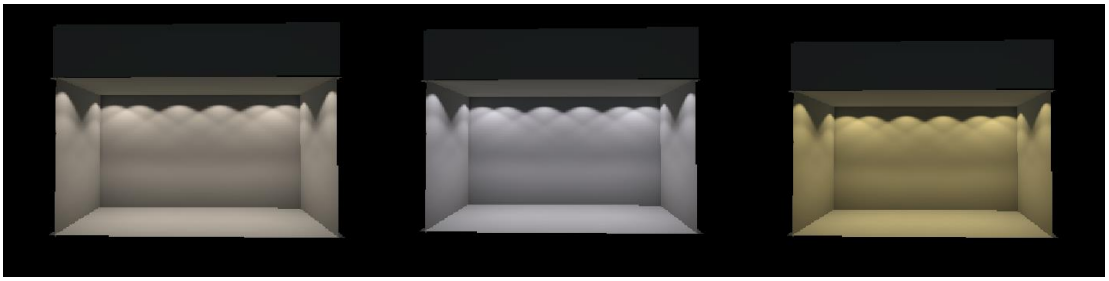


Figura 6: Ejecución del Script "CambiarLuz.cs" para la fuente luminosa TL84 (izqda), simulador D50 (centro) y simulador A (dcha).

El objetivo principal de estas transformaciones de color es comparar la fidelidad de la reproducción del color en la escena virtual iluminada con diferentes fuentes de luz mediante un sistema de gestión del color. Para comprobar su eficacia, se ha introducido en la escena de realidad virtual un *Color Checker* virtual al que se le ha cambiado la fuente luminosa. En la Figura 7 se muestra el *Color Checker* bajo las distintas fuentes luminosas y se pueden apreciar las variaciones de color originadas por el cambio de fuente.

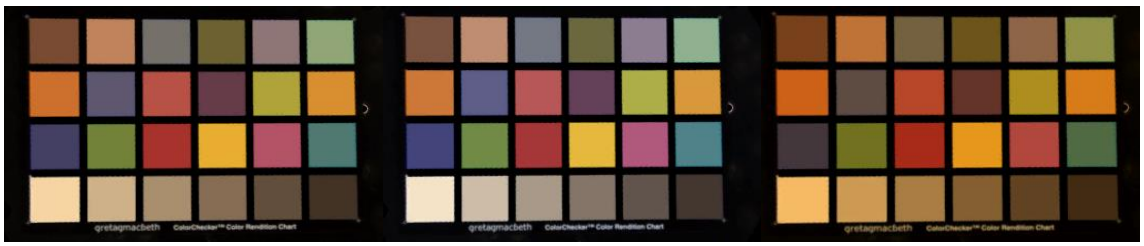


Figura 7: Efecto del cambio de fuente luminosa sobre el Color Checker para la fuente luminosa TL84 (izqda), simulador D50 (centro) y simulador A (dcha).

4. Conclusiones

Las pruebas realizadas han confirmado que es posible realizar una correcta gestión del color en Realidad Virtual mediante la inclusión de un sistema gestor de color, lo que redunda en una mejoría en la fidelidad en la reproducción del color en escenas de realidad virtual y la mejora de la sensación de realismo.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado gracias a las ayudas IB16004 y GR18131 de la Junta de Extremadura y ha sido parcialmente financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Bibliografía

[1] "Unity Technologies," 2019. [Online]. Available: https://unity.com/es. [Accessed 2 April 2019].

[2] F. Díaz-Barrancas, P. J. Pardo, M. I. Suero and A. L. Perez, "Is it possible to apply color management technics in Virtual Reality devices?," in *XIV Conferenza del Colore*, Firenze, 2018.

[3] M. M. Saguer, "Little CMS," 2018. [Online]. Available: http://www.littlecms.com/. [Accessed 10 Feb 2019].

Herramienta para la valoración de la capacidad de discriminación del color de observadores normales y defectivos mediante un test de ordenación de color, reproducido en un entorno de realidad virtual

Halina Cwierz[1*], Francisco Díaz-Barrancas[1], P. J. Pardo[1], A. L. Pérez[2] y M. I. Suero[2]

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

[2]*Departamento de Física, Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias, Avda. de Elvas s/n, Badajoz E06071, España*

http://grupoorion.unex.es

1. Introducción

La realidad virtual (VR) se está introduciendo, en mayor o menor medida, en casi todos los ámbitos de nuestra vida cotidiana. Cuando oímos VR, generalmente lo asociamos a los videojuegos, pero actualmente podemos encontrar VR en visitas a museos, en el sector del turismo, en el ámbito de la medicina (simuladores para la formación médica, tratamientos de fobias y traumas psicológicos), simulaciones de vuelo, simulaciones para conductores, aplicaciones de meditación, en el sector inmobiliario, tiendas, cine, retransmisiones en directo, en el ámbito educativo, etc. El uso de la VR en algunos casos puede suponer una reducción de costes y del grado de contaminación, como el caso de simuladores de vehículos, además de mejorar las habilidades de los usuarios. En otros casos, el aprendizaje de determinados conocimientos se puede acelerar, ya que las aplicaciones con VR muestran los contenidos de forma más atractiva.

En trabajos previos, los autores han puesto de manifiesto que el color es uno de los factores más influyentes de cara a mejorar la calidad de la experiencia de VR en términos de generación de la imagen virtual en relación con la original [1]. En consecuencia, la mejora de la fidelidad en la reproducción cromática puede considerarse como un paso adicional adecuado hacia la evolución de la calidad de los sistemas de realidad virtual.

En este trabajo se ha realizado un estudio de las herramientas que existen en el mercado en entornos de VR para simular la experiencia de los usuarios que padecen deficiencias en la visión de color (CVD) y las herramientas de VR que permiten detectar la CVD. Se proporciona una descripción de estas herramientas y se presenta una propuesta propia, desarrollada usando el software de *Unity* [2] y el dispositivo de visualización Head Mounted Display (HMD) *HTC Vive*. El objetivo es poder valorar la capacidad de discriminación del color de observadores normales y defectivos mediante un test de ordenación de color en un entorno de realidad virtual. El entorno virtual que se ha generado permite a los observadores realizar el test de ordenación del color Farnsworth-Munsell 100-hue (FM-100) [3] y obtener una valoración de su capacidad de discriminación del color.

2. Herramientas y aplicaciones disponibles en el mercado para VR

En la actualidad, las principales aplicaciones o complementos relacionados con VR que se encuentran en el mercado son: “Experience: Colorblindness” y “ColorBlind Effect”, que describiremos a continuación.

Experience: Colorblindness es un juego de realidad virtual, que se anuncia en la página de *Steam Storage* con el interrogante: “¿Te has preguntado alguna vez cómo las personas con deficiencias visuales ven el mundo?”. En esta página ofrecen la posibilidad de experimentar esta sensación, mediante juegos que

* *e-mail*: hccwierz@unex.es

simulan comprar frutas o pintar. Además, incluye un test de visión del color. Este juego, está disponible de forma gratuita en *Steam* [4], plataforma de distribución digital desarrollada por *Valve Corporation* y que está relacionada con videojuegos en ordenador. Es necesario un visor de VR, que podría ser: *HTC Vive, Oculus Rift o Windows Mixed Reality.*

ColorBlind Effect: Es un complemento (plugin) para Unity que produce determinados efectos sobre los colores mostrados en la pantalla. La escena inicial del ejemplo que proporcionan (Figura 1 a) es para una visión normal, pero nos permite cambiar el parámetro Type del script "colorblind", a los tres tipos más comunes de ceguera al color (Protonopia, Deuteranopia y Tritanopia). Es de sencilla configuración y control. Compatible con todas las rutas de renderizado de Unity (Forward, Deferred y Legacy) y anti-aliasing. No hay impacto de rendimiento perceptible. Funciona con componentes GUI (con el modo de renderizado Canvas establecido en Screen Space - Cámara). Se recomienda a los diseñadores de videojuegos, ya que les puede servir de ayuda para diseñar una mejor experiencia de usuario y ver cómo perciben los juegos las personas con deficiencias visuales.

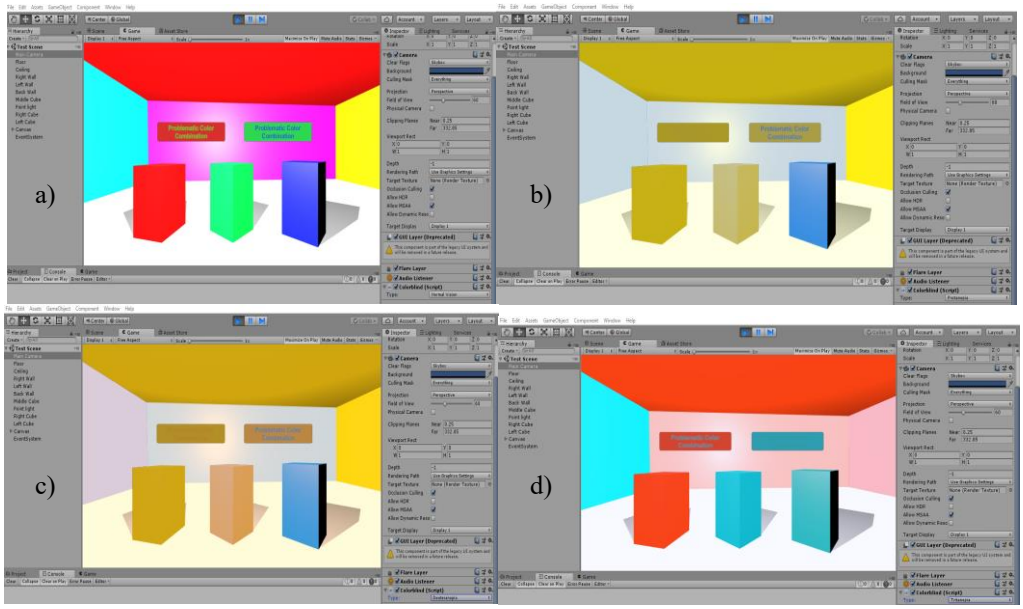


Figura 1: Ejemplo de funcionamiento de ColorBlindEffect en Unity. a) Visión Normal b) Protonopia c) Deuteranopia d) Tritanopia

3. Test de visión del color.

El origen de los test de visión del color responde a un triple aspecto histórico:

- El descubrimiento de casos aislados de ceguera al color.
- La introducción de nuevas teorías e hipotéticos tipos de defectos.
- La detección de anomalías en personas cuyo trabajo a desempeñar pueda verse influenciado.

En la actualidad, existen diferentes pruebas para detectar la deficiencia cromática, las describimos a continuación:

Pruebas Pseudoisocromáticas

Este tipo de pruebas se basa en la utilización de láminas compuestas de pequeñas superficies coloreadas (fondo) de las que destacan unas zonas también coloreadas que forman una figura que será solo visible para observadores normales en unas ocasiones y en otras sólo será visible por observadores anómalos o defectivos. El Test de Ishihara, es probablemente el test pseudoisocromático más extendido.

Pruebas de ordenación

Otro tipo de test de visión cromática son las llamadas pruebas de ordenación que, como su propio nombre indica, consisten en la clasificación secuencial de sus elementos constituyentes en función de su tono o saturación. Los modelos más extendidos son el test *FM-100* y a los que posteriormente se ha unido una versión reducida del primero 15-Hue y otra versión del mismo desaturado D-15.



Figura 2: Farnsworth-Munsell 100-hue Test Kit (izda.) y aplicación de evaluación (dcha.)

El test *FM-100*, editado en 1943, es un test de discriminación de color constituido por 8 cápsulas de referencia y 85 cápsulas para ser manipuladas, con colores pertenecientes a la escala de *Munsell* tales que entre dos colores vecinos el atributo del color que varía de manera significativa es el tono. La idea original de este test era que luminancia y saturación permanecieran constantes, aunque en la realidad, presentan ciertas variaciones [5]. Los colores seleccionados para completar las 85 cápsulas fueron elegidos para que se distribuyesen a lo largo de una circunferencia en el diagrama cromático de escala uniforme (U.C.S.D.) de *Farnsworth* [6].

4. Metodología

Como se ha indicado anteriormente, nuestro principal objetivo es desarrollar e implementar una prueba completa del test *FM-100*, en un entorno VR controlado, para realizar una evaluación efectiva. Una de las ventajas de la VR es que suprimimos los factores externos que podrían modificar los resultados de una prueba, ya que el observador al ponerse las gafas de realidad virtual, se abstrae del mundo que lo rodea, sumergiéndose en el entorno que crearemos para esta experiencia.

Para conseguir nuestro objetivo, hemos introducido un Sistema de Gestión de Color (CMS) en el software de Unity, cuyo espacio de color nativo es RGB. Se ha partido de la caracterización cromática del dispositivo de visualización HMD *HTC Vive* y la definición de su perfil colorimétrico asociado. Se ha introducido la biblioteca de gestión de color *LittleCMS* y, mediante transformaciones colorimétricas, se han calculado los valores triestímulos de diferentes fuentes de luz definidas por su distribución espectral de potencia. Posteriormente, se ha aplicado una transformación de color desde el espacio de color CIE XYZ 1931 al espacio de color RGB nativo de Unity, a través de los perfiles ICC y el sistema de gestión del color.

En cuanto a las muestras del test *FM-100*, se ha medido la reflectancia espectral de las 85 cápsulas del test, y se han introducido en el software Unity a modo de textura que permite atribuir un color distinto a cada muestra del test. Aunque se recomienda que el test *FM-100* sea realizado bajo un iluminante D65, la realidad es que se utilizan muchos simuladores diferentes de iluminante D65 existentes en el mercado. Cada vez que se cambie de simulador de iluminante D65 en el entorno de realidad virtual, se realizará el proceso de cómputo de los nuevos colores RGB que se mostrarán en cada cápsula del test. Este cómputo se realiza utilizando el sistema gestor de color y otras funciones propias que permiten el cálculo colorimétrico partiendo de las reflectancias espectrales.

En cuanto a la metodología de aplicación del test, inicialmente se muestran al observador todas las muestras ordenadas (Figura 3) para posteriormente mostrar únicamente las muestras pertenecientes a una única fila de forma aleatoria, dejando la primera y última cápsulas fijas (Figura 4). El observador, con un mando del dispositivo *HTC Vive*, debe colocarlas en el orden que considere correcto y al terminar la prueba,



Figura 3*:* Ejemplo de simulación en Unity de las 85 cápsulas del test FM-100 ordenadas



Figura 4: Simulación de la escena en Unity para ordenar la primera fila del test FM-100 desordenadas

5. Resultados y Conclusiones

El resultado de este trabajo de investigación es el desarrollo y puesta a punto de una herramienta que permita evaluar la capacidad de discriminación del color en observadores normales y defectivos en un entorno de realidad virtual en términos similares al test *FM-100*. Para ello se han desarrollado técnicas de gestión del color en dispositivos de realidad virtual. En el futuro inmediato se procederá a validar la herramienta comparándola con el test original y mediante la evaluación de observadores reales.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con el apoyo de las subvenciones GR18131 e IB16004 de la Junta de Extremadura y ha sido parcialmente financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Bibliografía

[1] P. J. Pardo, M. I. Suero y Á. L. Pérez, «Correlation between perception of color, shadows, and surface textures and the realism of a scene in virtual reality,» *Journal of the Optical Society of America A,* vol. 35, nº 4, pp. B130-B135, 2018.

[2] «Unity Technologies,» 2019. [En línea]. Available: https://unity.com/es. [Último acceso: 2 April 2019].

[3] D. Farnsworth, «The Farnsworth-Munsell 100-Hue and Dichotomous Tests for Color Vision,» *Journal of the Optical Society of America,* vol. 33, pp. 568-578, 1943.

[4] «Steam. Experience: Colorblindness,» iNFINITE Production, 27 Nov 2018. [En línea]. Available: https://store.steampowered.com/app/979100/Experience_Colorblindness/. [Último acceso: 5 Feb 2019].

[5] M. García Romera, M. Grosman, M. SánchezMarañón, L. Gómez Robledo y M. Melgosa, «Uniformidad del test 'Farnsworth-Munsell 100-Hue',» *Optica Pura ,* vol. 44, nº 1, pp. 139-148, 2011.

[6] K. Bowman, «The farnsworth dichotomous test - the panel D-15,» *The Australian Journal of Optometry,* vol. 56, nº 1, pp. 13-24, 1973.

"ESTUDIO DE LOS CAMBIOS DE COLOR DE DOS PROTOCOLOS DE REVASCULARIZACIÓN PULPAR DENTARIA TRAS BLANQUEAMIENTO"

Juan Luis Jiménez Padilla[1], Valentín Viqueira*[1] Francisco Miguel Martínez Verdú[1], Esther Perales[1], Bàrbara Micó-Vicent, Khalil Huraibat[1], y Santiago González López[2]

[1]*Departameno de Óptica, Farmacología y Anatomía. Universidad de Alicante. Carretera de San Vicente del Raspeig s/n. San Vicente del Raspeig (Alicante), 03690.*

2- Departamento de Estomatología, Universidad de Granada

https://web.ua.es/gvc

1. Introducción

Para obtener un buen resultado en el tratamiento odontológico es fundamental tener en cuenta la estética, dada la importancia que socialmente atribuimos a la sonrisa; por ello hoy en día se priorizan siempre los tratamientos que causan un mínimo impacto sobre la estética del paciente.

Por otro lado, las afecciones en dientes de pacientes jóvenes, ya sean debidas a una caries o a un trauma, son desafortunadamente una práctica muy frecuente en los consultorios dentales. Cuando los dientes permanentes aparecen en la cavidad bucal, existe un periodo crítico, que suele tener una duración de 4 años desde su erupción hasta que la raíz del diente completa su formación. Si el diente sufre algún daño y se necrosa durante esa fase, el clínico se enfrenta a una raíz inmadura, muy diferente a la de un paciente adulto. En estos casos el tratamiento tradicional ha consistido en el sellado del ápice con un material biocerámico, pero los dientes que reciben estos tratamientos no pueden continuar con su maduración y la raíz tratada se queda más corta, más débil y es propensa a las fracturas, siendo mayor el riesgo de movilidad dental debido al comprometido ratio corona/raíz [1].

Después de muchos estudios la idea de poder regenerar el complejo dentinopulpar agredido, para que fuese capaz de completar el desarrollo de la raíz y engrosar sus paredes dentinales se ha convertido finalmente en una realidad. Este campo de trabajo se conoce como "endodoncia regenerativa" y ha progresado mucho en estos últimos años debido a los avances obtenidos con el empleo de células madre. Así, mediante técnicas de ingeniería tisular, se propone regenerar el complejo pulpa-dentina dentro de un diente permanente ya existente en el paciente y restaurar sus funciones naturales, como la formación de la dentina de sustitución, y el mantenimiento de la inmunidad tisular y la sensibilidad nerviosa [2].

Al tratarse de un campo relativamente nuevo, no existe hoy en día un protocolo de tratamiento bien definido y hay diferentes vías de actuación. La práctica más común se conoce como la "revascularización pulpar" y consiste en realizar una instrumentación del conducto radicular más allá del vértice con el objetivo de formar un coágulo de sangre dentro del conducto de modo que se "revascularice" [3]. En esta técnica se pretende buscar la regeneración haciendo uso de las células madre progenitoras localizadas en la papila dental apical, que resulten resistentes a la infección y necrosis dentro del canal.

En odontología, a la hora de elegir entre todos los caminos posibles para tratar a un paciente, existe un condicionante muy importante y que hoy en día es muy demandado por todos los pacientes: la estética dental. Pese a los buenos resultados que ofrece esta nueva vía de actuación, muchos autores reportaron como punto negativo la tinción que experimenta el diente. Esta tinción se debe principalmente a los materiales intraconducto usados para ayudar a la desinfección y los cementos empleados para el sellado coronal [4].

2. Objetivo

El objetivo de éste trabajo es evaluar el cambio de color que ocurre en dientes incisivos anteriores tras aplicar dos diferentes protocolos de revascularización pulpar seguido de un proceso de blanqueamiento interno.

3. Materiales y métodos

Se emplearon 30 dientes incisivos superiores intactos, extraídos de pacientes, los cuales se prepararon simulando piezas inmaduras con ápices abiertos y fueron clasificados en tres grupos de 10 muestras cada uno: Grupo 1 - sangre (grupo control), grupo 2 – Pasta triantibiotica, y, grupo 3 – Biodentine.

Los ensayos realizados sobre las muestras se dividieron en dos fases y tuvieron una duración de cuatro meses en total, durante los cuales se realizaban mediciones con el espectrorradiómetro Konica Minolta CS-2000. Estas medidas se tomaron siempre en el tercio cervical de la cara vestibular de cada muestra y bajo luz fluorescente simuladora de luz diurna (D65) a lo largo de todas las semanas.

En una primera fase se realizaron las simulaciones de revascularización pulpar. En el grupo 1 se contaminaron los conductos con sangre para evaluar su efecto por sí solo durante 3 semanas. En el grupo 2, primero se temporizó durante 3 semanas con un preparado de pasta triantibiotica (TAP) compuesta de ciprofloxacino, metronidazol y minociclina y después se contaminó con sangre y se selló de forma convencional hasta completar 3 meses. En el grupo 3 se contaminaron los conductos con sangre y se selló coronalmente con Biodentine durante 3 meses.

En el grupo 1 se tomaron registros de color (t_0) previo a la preparación de las muestras, a la semana (t_1), a las dos semanas (t_2) y a las tres semanas (t_3), contadas desde la aplicación de sangre; en el grupo 2 se tomaron registros de color (t_0) previo a la preparación de las muestras, a las dos semanas (t_1), a las tres semanas (t_2), al mes (t_3), al mes y medio (t_4), a los dos meses (t_5) y a los tres meses (t_6) contando desde el inicio de los ensayos de este grupo (aplicación de TAP); en el grupo 3 se tomaron registros de color a las dos semanas (t_1), a las tres semanas (t_2), a los dos meses (t_3) y a los tres meses (t_4), contados desde la aplicación de Biodentine.

En una segunda fase se aplicó el agente blanqueador B.N.V. compuesto de peróxido de hidrogeno, hidróxido de amonio y perborato de sodio a los grupos 2 y 3 la cual duró tres semanas. Se tomaron tres registros de color cada semana, justo antes de cambiar el agente blanqueador.

Los datos colorimétricos se analizaron en el espacio CIE-L*a*b* [5-7] y se realizó un análisis estadístico usando el programa GraphPad Prism (Graphpad software Inc., California, USA). Para evaluar la tinción ocasionada se compararon los valores L*, a* y b* de cada tiempo de medición con su situación inicial mediante t-test pareado, y para evaluar los valores ΔE^*_{Ch}, ΔL^*, ΔC^*_{ab} y Δh_{ab} entre los grupos y entre los tiempos de medición de cada grupo se realizó un análisis de varianza (ANOVA) unifactorial y el test de comparación múltiple de Bonferroni.

4. Resultados

En la Tabla 1 se muestran los principales resultados obtenidos en la primera fase.

Tabla 1. Diferencias de color en el plano Ch. Media y Desviación estándar de ΔE^*_{Ch}, en tres tiempos de la primera fase de los grupos 1, 2 y 3.

Fase 1: revascularización	**3 semanas**	**2 meses**	**3 meses**
Grupo 1 - control	15,49 ± 7,69[a]		
Grupo 2 - TAP	15,51 ± 6,40	24,48 ± 12,62[b]	26,12 ± 13,16[ac]
Grupo 3 - Biodentine	9,48 ± 3,09	8,72 ± 5,22[b]	13,48 ± 5,18[c]

Las diferentes letras en superíndice indican diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones (p< 0,05) en sentido vertical.

Al finalizar la primera fase, el grupo que más diferencia de color mostró fue el grupo 2 (TAP), llegando a alcanzar valores muy superiores al resto, le siguió el grupo 1 (sangre) y por último el grupo 3 (Biodentine), por lo que se puede afirmar que la TAP tiene mayor influencia sobre el color del diente que el sellado cervical con Biodentine. Sin embargo, el uso de Biodentine sin utilizar ningún medicamento intraconducto, no exime de que exista cambio de color, ya que, aunque en menor medida, resulta perceptible ($\Delta E^*_{Ch} > 3{,}7$). Otro dato importante a tener en cuenta es que las diferentes muestras presentan una variabilidad muy elevada.

Todos los grupos mostraron diferencias de color significativas al finalizar los ensayos, por lo que se confirma que los protocolos de revascularización propuestos tiñen de forma evidente la dentina. En todos ellos, el atributo que más aporta al cambio de color fue la perdida de claridad (ΔL^*), seguido de la pérdida de colorido (ΔC^*_{ab}) y, por último, el cambio tonal (ΔH^*).

En la tabla 2 se muestran los resultados de la segunda fase (proceso de blanqueo).

Tabla 2. Media y Desviación estándar de ΔE^*_{Ch}, al inicio y al final de la segunda fase con respecto a la situación inicial (t_0).

Fase 2: blanqueamientos	**Pre blanqueamiento**	**Post blanqueamiento**
Grupo 2 – TAP	26,12 ± 13,16[a]	9,11 ± 3,64
Grupo 3 - Biodentine	13,48 ± 5,18[a]	7,26 ± 3,82

Las diferentes letras en superíndice indican diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones (p< 0,05) en sentido vertical.

Al inicio de la segunda fase, el grupo 2 parte de una situación menos ventajosa que la del grupo 3 y consigue en valores absolutos más blanqueo que el grupo 2 (reducción en ΔE^*_{Ch}), aunque el grupo 3 consiguió unos resultados finales un poco mejores respecto al inicio de los ensayos (t_0). De esta forma se puede afirmar que, para ambos grupos, los blanqueamientos han sido efectivos en cierta medida, aunque no se alcanza una recuperación total al mostrar cambio de color perceptible ($\Delta E^*_{Ch} > 3{,}7$).

Los resultados también revelaron que esta recuperación de color fue clínicamente perceptible ($\Delta E^*_{Ch} > 3{,}7$) si comparamos las diferencias de color post blanqueamiento con el inicio de los experimentos (t_0) y que, además, esas diferencias de color no fueron significativas entre ambos procesos de revascularización pulpar. No hay duda sobre la efectividad de los agentes blanqueadores, pero cuando el objetivo final es devolver el color a la situación previa a la realización de la revascularización pulpar, parece que no se consigue en su totalidad, y que el resultado final es independiente de haber empleado TAP o Biodentine.

En la Fig. 1 se muestran, a modo de resumen, los resultados de la variación de color (ΔE^*_{Ch}) de todos los grupos a lo largo del tiempo.

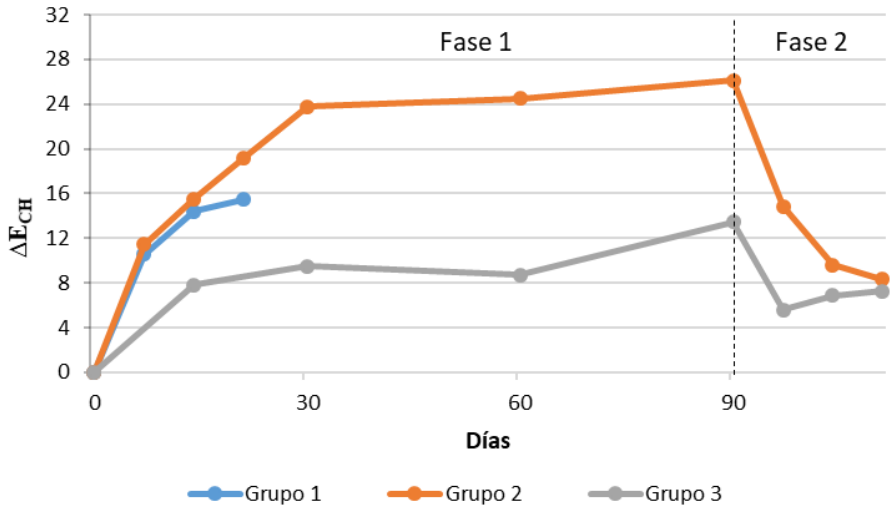


Figura 1. Diferencia de color de todos los grupos a lo largo del tiempo en el plano de color CIE-L*C$_{ab}$ *h$_{ab}$.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un estudio colorimétrico de los cambios de color producidos con dos protocolos de revascularización pulpar diferentes y su posterior blanqueamiento. En el primer tratamiento (TPA) se comprobó la variación cromática en la dentina de forma clínicamente perceptible y estadísticamente significativa respecto a la situación inicial siendo la claridad el parámetro que más influyó en el cambio de color, oscureciendo los dientes significativamente de forma gradual y progresiva. Respecto al segundo tratamiento (Biodentine), también se comprobó la existencia de variación cromática en la dentina de forma clínicamente perceptible desde las primeras semanas de su uso, alcanzando los mayores valores a partir del segundo mes. Sin embargo, la tinción ocasionada por el protocolo de revascularización pulpar propuesto en una visita usando Biodentine es significativamente menor que el propuesto en dos visitas usando TPA como medicamento intraconducto. Por otro lado, la técnica de blanqueamiento obtuvo resultados satisfactorios y estos fueron igual de efectivos para piezas teñidas por TAP que por Biodentine.

Bibliografía.

[1] Fuks, A. B., Peretz, B. (2016). Pediatric endodontics: Current concepts in pulp therapy for primary and young permanent teeth, 1ª ed, Springer, New York.
[2] Cohen, S., Burns, R. (2004). Vías de la pulpa, 8ª ed, España editorial, Madrid.
[3] Martin, G., Ricucci, D., Gibbs, J. L., Lin, L. M. (2013). Journal of Endodontics, 39.1.138-144.
[4] Akcay, M., Arslan, H., Yasa, B., Kavrık, F., Yasa, E. (2014). Journal of Endodontics 40.6. 845-848.
[5] Capilla, P., Artigas, J. M., Pujol, J. (2002). Fundamentos de Colorimetría, Publicaciones de la Universitat de València. Valencia.
[6] Gulrajani, M. L. (2010). Colour measurement: Principles, advances and industrial applications, Elsevier. Cambridge (UK).
[7] Joiner, A., Luo, W. (2017). Tooth colour and whiteness: A review. Journal of Dentistry, 67, S3-S10.

Estimación visual del graininess mediante el método psicofísico de ordenación de estímulos

Esther Perales*, Mireya Ortiz, Bàrbara Micó-Vicent, Khalil Huraibat y Valentin Viqueira

[1]*Departameno de Óptica, Farmacología y Anatomía. Universidad de Alicante. Carretera de San Vicente del Raspeig s/n. San Vicente del Raspeig (Alicante), 03690.*

https://web.ua.es/gvc

1. Introducción

La apariencia visual de un producto es importante por diferentes razones. Por un lado, este atributo es utilizado por el fabricante para conocer la reproducibilidad de su sistema, es decir, es un índice del nivel de control de calidad. Por otro lado, la apariencia visual de un material es un factor crítico que afecta a la decisión de compra de posibles clientes. Por todas estas razones, durante los últimos años se ha trabajado para conseguir efectos visuales más atractivos, como por ejemplo con el uso de pigmentos de efecto especial (goniocromáticos) [1-3].

El goniocromatismo se define como el cambio de color que se produce al cambiar el ángulo de iluminación o/y observación. Así, es posible distinguir entre pigmentos metálicos, con los que principalmente se produce un cambio de claridad, y pigmentos perlados o difractivos, donde el cambio de color se produce principalmente en los atributos de croma y tono. Además de esta dependencia angular para el color, los pigmentos de efecto especial exhiben una textura compleja [4, 5].

Bajo condiciones de iluminación directa, los pigmentos metálicos producen destellos o puntos luminosos, lo que se conoce como *sparkle*. Sin embargo, con los mismos pigmentos, pero bajo condiciones de iluminación difusa, se observa un patrón irregular claro/oscuro, el conocido efecto como sal y pimienta, denominándose a esta textura como *graininess* [4]. Ambos efectos de textura, sparkle y graininess, dependen del tamaño de pigmento y de su orientación y distribución en la muestra [6].

Actualmente, en el mercado sólo existen dos instrumentos para medir estos efectos de textura, los espectrofotómetros multi-ángulo BYK-mac i y MAT-12 de X-Rite. Sin embargo, el más utilizado en el sector es el BYK-mac i. Este instrumento mide el color en seis geometrías de medida e incluye una cámara CCD para caracterizar los efectos de textura. En particular, para la caracterización del *sparkle*, la muestra es iluminada direccionalmente a 15º, 45º y 75º respecto la normal de la muestra. El ángulo de observación se encuentra para las tres configuraciones en la normal a la muestra. Además, definen tres parámetros para su caracterización: *sparkle intensidad* (Si), *sparkle área* (Sa) y *sparkle general* (S_G). El sparkle intensidad se especifica como la intensidad de puntos luminosos en relación con la intensidad del fondo. El *sparkle área* se define como el tamaño total de los puntos luminosos por unidad de área. Finalmente, estos dos parámetros de combinan para definir un parámetro representativo de sparkle, como el *sparkle general* [6-8]. Por otro lado, para la caracterización del graininess, la muestra se ilumina con iluminación difusa mediante una esfera integradora. Así, el patrón irregular claro/oscuro es registrado mediante la cámara CCD proporcionando una imagen de nivel de gris. La uniformidad de la imagen se considera una medida del *graininess*. Por tanto, un mayor valor de *graininess*, indica que la imagen obtenida es menos uniforme. EL *graininess*, es consecuentemente, el resultado de la suma de todas las reflexiones relativas a una muestra uniforme de referencia dado por un único parámetro (G).

Sin embargo, no existen normativas ISO, ASTM, DIN o CIE que propongan algoritmos ópticos y matemáticos para la caracterización de estos efectos de textura implementados por la empresa BYK-Gardner. Por tanto, es muy importante evaluar o validar visualmente ambos efectos, *sparkle* y *graininess,*

* *e-mail*: esther.perales@ua.es

mediante experimentos psicofísicos. Esta validación es de crucial importancia para el control de calidad de estos materiales, así como para la discriminación visual entre productos.

Por tanto, en este trabajo se plantea la validación del efecto de textura graininess mediante un método psicofísico (*rank-order*) con el objetivo de comparar la escala instrumental proporcionada por el instrumento con una escala visual obtenida mediante evaluaciones visuales con un conjunto de observadores.

2. Materiales y Métodos

El método psicofísico elegido fue el de ordenación de las muestras (*rank-order*). Para ello, la tarea del observador fue ordenar las muestras presentadas según el *graininess* percibido. De este modo, la muestra con más *graininess* percibido se colocaba a la derecha y la de menos *graininess* a la izquierda. Cada observador realizó tres repeticiones para conocer la variabilidad del observador. En el experimento participaron 26 observadores. Por tanto, en total, se realizaron 78 ordenaciones para ser procesadas. Para realizar el experimento visual, se utilizó la cabina de iluminación VeriVide. La fuente de luz utilizada fue un simulador D65 con coordenadas cromáticas x = 0.3127 y y = 0.3383 y una temperatura de color de 6439 K y un índice de rendimiento en color de 95 unidades. Además, el nivel de iluminación sobre el plano de observación de las muestras fue de 1415 lx. El experimento se llevó a cabo en una habitación con oscuridad total y el observador previamente a la realización del experimento se adaptaba 3 minutos a las condiciones de iluminación del experimento.

El conjunto de muestras utilizado estaba compuesto de 10 muestras pertenecientes a la carta *Effect Navigator*® de Standox. Esta carta fue diseñada para determinar el tamaño de partícula para la formulación del color en la industria del repintado de coches. Se trata de cartulinas de 70 x 120 mm con diferente grado de textura y claridad. El espectrofotómetro multi-ángulo BYK-mac i fue utilizado para medir el *graininess* de las muestras utilizadas.

Una vez recogidos los datos del experimento visual, el tratamiento de datos para la obtención de la escala visual de *graininess* fue el siguiente. En primer lugar, se determinó el orden de clasificación de las muestras mediante el orden medio (M_R) multiplicando los órdenes por sus frecuencias correspondientes y considerando el entero correspondiente. A continuación, se determinó la elección media (M_C) definida con la Ec. 1:

$$M_C = n - M_R \tag{1}$$

donde n es el número de estímulos (muestras) consideradas en el experimento visual. Para determinar la escala, se asume que el observador para ordenar las muestras compara cada muestra con el resto de muestras, directamente o indirectamente. Por tanto, lo que se está determinando con el experimento es la probabilidad de elección, que puede calcularse en este caso según la Ec. 2:

$$p = M_C/(n-1) \tag{2}$$

A continuación, a partir de estas probabilidades se obtiene la desviación normal estándar (z), que se considera como la escala del atributo estudiado, en este caso, una escala de *graininess*, siguiendo la ley de juicios comparativos [7]. Una vez obtenida la escala visual, se comparó con la escala instrumental para conocer si existía alguna correlación entre ambas escalas.

3. Resultados

Una vez terminadas todas las sesiones con los observadores, se procedió al tratamiento de los resultados del método psicofísico elegido para determinar el valor de *graininess* estimado por los observadores para su posterior comparación con el valor de *graininess* instrumental. Para ello, se utilizaron las ecuaciones descritas en el apartado anterior para obtener la desviación normal estándar (z) considerada en este caso, el valor de graininess de las muestras. En la Tabla 1, se resumen todos los resultados. En primero lugar, se presenta la frecuencia en la que cada estímulo (muestra) es situada en

cada una de las posibles posiciones (del 1 al 10). Posteriormente, se muestra la clasificación media (M_R), así como la clasificación y ordenación de las muestras (R). A partir de esta clasificación, se obtiene la escala mediante las Ec. 1 y 2, y la obtención de la desviación estándar normal (z).

	Estímulos									
Frecuencia	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	52	0	21	0	1	0	3	0	1	0
2	18	0	46	0	9	0	4	0	1	0
3	4	3	9	0	52	0	9	0	0	0
4	2	6	2	5	9	1	45	0	9	0
5	2	14	0	8	5	3	11	0	35	0
6	0	26	0	20	2	11	3	1	13	2
7	0	13	0	27	0	15	1	5	14	2
8	0	10	0	15	0	41	1	7	3	1
9	0	3	0	3	0	4	0	58	1	10
10	0	3	0	0	0	3	1	7	1	63
M_R	1.51	6.24	1.90	6.62	3.18	7.49	3.71	8.83	5.55	9.67
R	1.00	6.00	2.00	7.00	3.00	8.00	4.00	9.00	5.00	10.00
M_C	8.49	3.76	8.10	3.38	6.82	2.51	6.29	1.17	4.45	0.33
C	-8.00	-3.00	-7.00	-2.00	-6.00	-1.00	-5.00	0.00	-4.00	1.00
p	0.943	0.417	0.900	0.376	0.758	0.279	0.699	0.129	0.494	0.037
z	1.581	-0.209	1.283	-0.316	0.699	-0.585	0.523	-1.128	-0.014	-1.786

Tabla 1: Frecuencia en la que las muestras fueron asignados en un orden determinado y cálculos realizados para la obtención de la escala visual del *graininess*.

Para poder comparar la escala obtenida visualmente con la escala instrumental, se utilizó la función *procrustes* de Matlab®. Esta función aplica una transformación lineal a los datos de entrada (z) (traslación, reflexión, rotación y escalado) para ajustarse o adaptarse a los datos instrumentales (G). En la Fig. 1 se analiza la correlación entre las dos escalas, visual e instrument, así como las muestras del experimento.

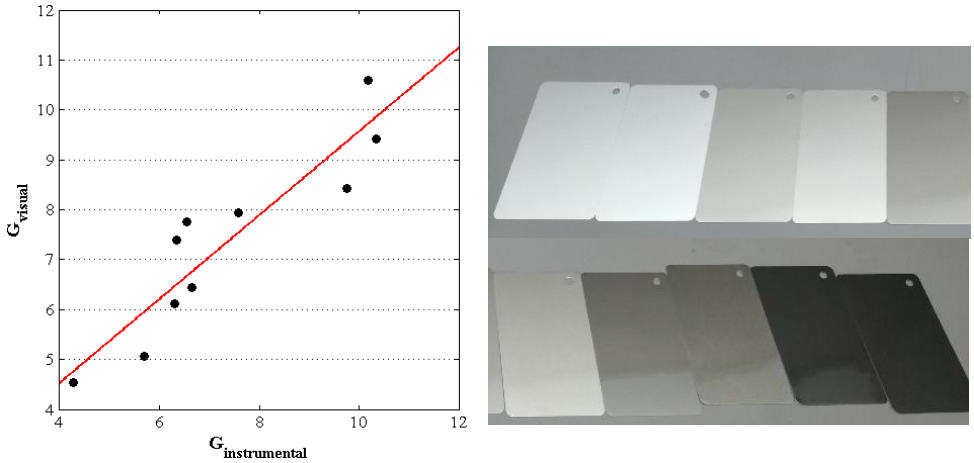


Figura 1. Correlación entre el valor de graininess determinado con el espectrofotómetro multi-ángulo BYK-mac i y el valor de graininess obtenido mediante un experimento visual (izquierda). Muestras utilizadas (derecha)

Como puede verse en la Fig.1, existe una correlación lineal entre ambas magnitudes. En la Ec. 3 se presenta el ajuste lineal obtenido, así como el coeficiente de correlación. En este caso, se ha obtenido un $R^2 = 0.8415$. Hubiera sido deseable obtener un coeficiente de correlación mayor de 0.9 tratándose de un ajuste lineal, sin embargo, se obtiene una pendiente cerca de la unidad y una ordenada en el origen alrededor de 0, lo que indica que la correlación entre ambas magnitudes es muy buena.

$$G_{instrumental}=0.9998 \cdot G_{visual}+0.0029 \quad (3)$$

No obstante, es destacable mencionar que el experimento psicofísico escogido es uno de los más sencillos y no diseñado explícitamente para obtener una escala como otros algoritmos más complejos como el escalado multidimensional (MDS). Por tanto, considerando estos resultados puede decirse que la escala instrumental, es decir, el algoritmo diseñado por la empresa BYK Gardner se ajusta bastante bien a la percepción de este atributo de textura, *graininess*, por el sistema visual humano, condición o requisito imprescindible para poder realizar correctamente el control de calidad de materiales con estas características. A la vista de estos resultados, es esperable obtener una mejor correlación diseñando un experimento visual más adecuado para la determinación de escalas visuales, como puede ser el método de comparación de pares.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha analizado el valor de *graininess* proporcionado por un instrumento comercial (BYK-mac i) para comprobar si se correlacionaba con la percepción visual de este atributo. Para ello, se diseñó un experimento psicofísico basado en el método de ordenación o clasificación de estímulos. Se utilizaron 10 muestras representativas de este atributo visual, y participaron 26 observadores. Tras el análisis de los resultados obtenidos en el experimento visual y la obtención de la escala visual, se comprobó que existe una buena correlación entre ambas magnitudes, lo que garantiza poder realizar el control de calidad de estos materiales considerando este instrumento puesto que representa en buen grado el valor percibido de *graininess* por el sistema visual humano.

Agradecimientos: EMRP por la financiación del proyecto “Bidirectional reflectance definitions” (16NRM08)”. EMRP es financiado conjuntamente con los países participantes dentro de EURAMET y la Unión Europea. Además, los autores agradecen la participación de todos los observadores en el experimento visual.

Bibliografía

[1] R. A. Charvat, Coloring of Plastics: Fundamentals, 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. (2004).

[2] M. Debeljak, A.Hladnik, L. C˘erne, and D. Gregor-Svetec, “Use of effect pigments for quality enhancement of offset printed specialty papers”, Color Res. Appl., **38**(3), 168–176 (2013).

[3] H. J. Streitberger and K. F. Dossel, Automotive Paints and Coatings, 2nd ed. Weinheim: Wiley-VCH (2008).

[4] G. A. Klein and T. Meyrath, Industrial Color Physics: Springer (2010).

[5] ASTM Standard E284-13b, Standard Terminology of Appearance, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2013).

[6] E. Kirchner, I. Van der Lans, E. Perales, F. Martínez-Verdú, J. Campos, and A. Ferrero, “Visibility of sparkle in metallic paints,” J. Opt. Soc. Am. A **32**, 921–927 (2015).

[7] L. Thurstone, “A Law of Comparative Judgment,” Psychology Review, **34,** 273-286 (1927)

¿Las gafas VINO 02 Amp Oxy-Iso corrigen la deficiencia rojo-verde en la visión del color?

Miguel Á. Martínez-Domingo[1*], Luis Gómez-Robledo[1], Eva M. Valero[1], Rafael Huertas[1], Javier Hernández-Andrés[1], Silvia Ezpeleta[1] y Enrique Hita[1]

[1]*Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada*

http://www.ugr.es

1. Introducción

A pesar de que la visión defectiva del color afecta al 8% de los hombres y al 0,5% de las mujeres caucásicas, todavía no existe un tratamiento eficaz para la misma, aunque la terapia genética se haya probado con éxito en primates adultos [1].

Las ayudas para mejorar la visión del color en sujetos con CVD (Color Vision Deficiency) se clasifican en dos tipos: activas y pasivas. Las ayudas activas [2] cambian el color de las imágenes, mediante algoritmos de procesamiento de imágenes, aumentando el contraste entre los colores que son indistinguibles para el usuario con CVD. Por tanto, para estas ayudas se necesita una pantalla para ver la imagen final. Las ayudas pasivas se basan en filtros de color que los sujetos con CVD pueden utilizar como lentes oftálmicas o lentes de contacto, incluso con su correspondiente compensación optométrica. Entre las ayudas pasivas destacan por su novedad e impacto mediático, las gafas con filtros de color comercializadas por las compañías EnChroma y VINO. En un artículo reciente [3] analizamos la efectividad del modelo Cx-65 de EnChroma, mostrando, en consonancia con otros autores [4-6], que estas gafas no mejoran los resultados en las pruebas de diagnóstico ni permiten a los observadores CVD tener una visión de color más normal, ni por supuesto, ver colores "nuevos".

En cuanto a las gafas VINO O2 Amp Oxy-Iso, aunque inicialmente fueron diseñadas para mejorar el contraste de las venas debajo de la piel, los inventores afirman que su tecnología "ayuda a la deficiencia rojo-verde" [7]. Otros autores [4] han analizado este modelo, encontrando que se mejora la discriminación a lo largo del eje rojo-verde, tanto para los observadores deuteranopes como deuteranómalos. Mastey et al. [4] afirmó que los filtros de color pueden introducir suficientes pistas en la luminancia que permiten a las personas con CVD "hacer trampa" en las pruebas de color basadas en estímulos pseudoisocromáticos, como es el test de Ishihara. Patterson [5] comprobó que, con estas gafas, los dicrómatas mejoraban su discriminación rojo-verde, aunque no para los tricrómatas anómalos, concluyendo que esta mejora se logra mediante el cambio en el contraste y no por un cambio en la sensibilidad cromática.

En este trabajo analizamos en profundidad las gafas VINO O2 Amp Oxy-Iso utilizando dos aproximaciones: experimental y teórica. Experimentalmente, con un conjunto de 52 personas con CVD, se han utilizado tres pruebas de color clásicas: reconocimiento (Ishihara), ordenación (Fansworth-Munsell) y discriminación (anomaloscopio Oculus). Además, se ha agregado una prueba subjetiva de "color naming" basada en la carta de colores X-Rite. Desde un punto de vista teórico, se evalúa la efectividad de las gafas modelando la apariencia de color de escenas naturales por diferentes sujetos con CVD simuladas, con y sin gafas.

2. Material

En la Fig. 1 se muestran las transmitancias espectrales de las dos gafas. El filtro VINO tiene una transmitancia cercana a cero en la parte central del espectro visible, que cubre el área de respuesta espectral máxima en la curva de eficiencia luminosa. Por contra, la transmitancia de las gafas EnChroma

* *e-mail*: martinezm@ugr.es

mejora la percepción de los colores azulados o rojizos, pero no afecta a los colores verdes. Por lo tanto, se espera que ambos filtros produzcan efectos radicalmente diferentes en los observadores. Estas diferencias aumentarán para los sujetos protanopes, que tienen muy poca capacidad de respuesta en las longitudes de onda largas, y para quienes la única porción restante disponible del espectro sería la región azul con el filtro VINO, y azul y verde con el filtro EnChroma.

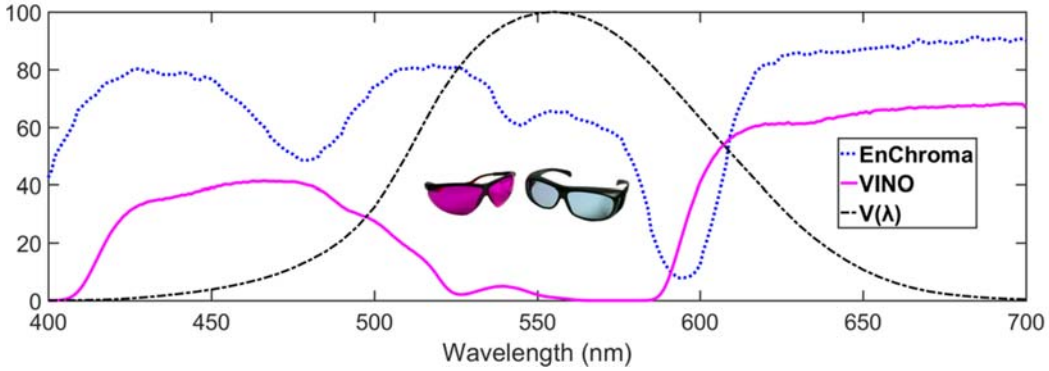


Figura 1: Transmitancia espectral (en %) de las dos gafas, así como la curva de eficiencia luminosa

3. Evaluación experimental de las gafas VINO O2 Amp Oxy-Iso

En el experimento participaron 52 voluntarios con CVD (2 mujeres y 50 hombres con edades entre 10 y 64 años), y se dividió en dos sesiones. En la primera se utilizaron 3 pruebas de cribado y diagnóstico diferentes: Ishihara (prueba de reconocimiento), Fansworth-Munsel 100 Hue FM-100 (prueba de ordenación) y un anomaloscopio Oculus (prueba de diagnóstico). Con el anamaloscopio clasificamos a los 52 observadores en cuatro categorías, con el siguiente resultado: 23 protanopes, 19 deuteranopes, 4 protanómalos y 6 deuteranómalos. Las pruebas de Ishihara y FM-100 se realizaron en una cabina de iluminación Verivide CAC 60 equipada con una fuente de luz simuladora del iluminante D65, ubicada en una habitación oscura.

Además de las pruebas mencionadas, diseñamos una prueba de "color naming" con 21 muestras tomadas de la carta de color ColorChecker de X-Rite GretagMacbeth. Estaos muestras de color se presentaron tanto en un monitor HP 2510i 25") calibrado con el dispositivo X-Rite Eye One como en la misma cabina de iluminación. En esta prueba, se pidió a los participantes que nombraran el color utilizando uno de los 11 nombres de colores propuestos por Berlin y Kay [8]: negro, blanco, gris, rojo, verde, azul, amarillo, naranja, marrón, púrpura y rosa. Las respuestas se compararon con las respuestas de un grupo de control de sujetos con visión normal del color, y se determinó el número de cambios en nombres de color con respecto al grupo de los normales y también el número de cambios en los nombres producidos durante la segunda sesión con respecto a la primera.

Clasificación	VINO	Ishihara	FM100				"Color naming"
		Fallos	*SQR*	*ángulo*	*CI*	*SI*	Fallos
Deuteranómalos	OFF	20.33 (5.72)	12.78 (2.05)	23.68 (17.78)	2.16 (0.56)	1.30 (0.24)	6.17 (1.17)
	ON	1.67 (1.86)	16.97 (3.76)	41.02 (22.53)	3.53 (1.29)	1.79 (0.52)	9.50 (4.04)
Deuteranopes	OFF	23.15 (1.01)	14.74 (2.73)	11.38 (6.92)	2.68 (0.54)	1.52 (0.26)	7.68 (2.93)
	ON	1.05 (0.91)	18.61 (2.14)	35.92 (5.93)	4.11 (0.54)	2.02 (0.25)	9.37 (1.64)
Protanómalos	OFF	23.75 (0.50)	11.34 (1.78)	22.67 (15.19)	1.94 (0.27)	1.44 (0.11)	7.75 (2.63)
	ON	15.75 (4.19)	15.16 (1.26)	13.91 (8.84)	2.94 (0.40)	1.51 (0.30)	12.00 (0.82)
Protanopes	OFF	22.96 (1.52)	12.51 (2.60)	23.74 (9.84)	2.29 (0.53)	1.57 (0.30)	8.13 (2.42)
	ON	17.48 (4.20)	16.66 (1.76)	19.01 (6.11)	3.36 (0.34)	1.66 (0.21)	10.00 (1.93)
Todos los observadores	OFF	22.79 (2.33)	13.27 (2.75)	19.52 (11.97)	2.39 (0.56)	1.51 (0.28)	7.71 (2.54)
	ON	9.52 (8.65)	17.29 (2.37)	27.33 (13.33)	3.62 (0.69)	1.80 (0.33)	9.87 (2.16)

Tabla 1: Valores promedio y desviaciones estándar (SD) de los resultados del test de Ishihara, FM100 y "color naming" sin y con las gafas VINO para los 52 sujetos

Durante la segunda sesión, realizada al menos 2 semanas después de la primera para minimizar los efectos de aprendizaje o memoria, los observadores repitieron las pruebas de Ishihara, FM-100 y "color naming" tras usar las gafas VINO durante 30 minutos (tiempo de adaptación). El anomaloscopio no se usó en esta segunda sesión por la incompatibilidad entre los filtros de las gafas y las luces monocromáticas que usa este dispositivo.

Comparando los resultados usando o no las gafas VINO, se observa que el número de fallos en el test de Ishihara disminuye mientras que los resultados del FM100 y "color naming" empeoran. Esto se debe principalmente a que sus espectros de transmitancia disminuyen la luminosidad de los colores verdes y no porque la visión en color de los observadores CVD sea más similar a un sujeto normal cuando usan las gafas VINO.

4. Evaluación teórica mediante simulaciones

La simulación de la visión del color, de observadores normales y con CVD (sin y con gafas VINO), se ha realizado con el modelo de apariencia de color CIECAM02 para dos conjuntos de datos (D1 y D2). El conjunto de datos D1 está compuesto por 124 reflectancias de tres conjuntos diferentes de muestras: el ColorChecker de X-Rite, el test FM-100 y el conjunto de muestras utilizadas para el cálculo del índice de rendimiento del color (CRI) de fuentes de luz. El conjunto de datos D2 contiene 5 escenas naturales submuestreadas a 1 de cada 4 píxeles en las dimensiones horizontal y vertical, extraídas de una base de datos hiperespectral de escenas urbanas [9], y comprende en total 565500 reflectancias. Se han calculado los atributos perceptuales de luminosidad (J), croma (C) y ángulo de tono (h, con valores entre 0º y 360º) para siete condiciones de visión (normal, protanope, deuteranope, y protanómala y deuteranómala leve y media), con y sin las gafas VINO.

Las condiciones de CVD se simularon utilizando el método propuesto por Lucassen et al. [10], donde hemos considerado el parámetro d=0.3 para anomalías leves, d=0.6 para medias y d=1.0 para dicrómatas. Las distribuciones de atributos de color, con y sin las gafas VINO, se compararon para determinar el efecto de agregar el filtro en los diferentes conjuntos de datos. Los datos se analizaron utilizando, según su distribución, pruebas estadísticas paramétricas o no paramétricas y estadísticas circulares en el caso del parámetro h, como se describe en [3]. Se determinó a priori si la distribución correspondiente era normal o no mediante el test de Jarque-Bera, y el test U2 de Wilson para el caso de las distribuciones de tono.

El efecto de agregar la gafa VINO es aumentar ligeramente la luminosidad para todas las condiciones en el conjunto de datos D1 y para todas las condiciones, excepto los protán medios y severos, en el conjunto de datos D2. Hay que tener en cuenta, que el conjunto de datos D2 tiene valores de croma notablemente más bajos que el conjunto de datos D1.

	Original	D (0.3)	D (0.6)	D (1.0)	P (0.3)	P (0.6)	P (1.0)
Sin gafas D1	30.43 (13.27)	26.38 (12.26)	23.52 (13.24)	23.09 (15.86)	26.26 (12.16)	22.69 (12.50)	20.54 (14.46)
Con gafas D1	59.37 (21.06)	47.54 (15.07)	37.72 (15.91)	32.41 (20.41)	50.79 (16.61)	42.03 (15.58)	32.73 (21.53)
Sin gafas D2	13.95 (12.36)	12.05 (9.41)	10.77 (7.80)	10.91 (8.29)	11.95 (9.76)	10.27 (7.64)	9.13 (6.98)
Con gafas D2	49.52 (19.47)	37.74 (11.83)	26.96 (7.55)	17.41 (10.40)	41.31 (13.85)	33.02 (8.75)	24.34 (9.77)

Tabla 2: Promedio y desviación estándar (SD) para el croma (*C*) sin y con gafas VINO para condición de CVD simulado (datos D1 y D2)

Como se observa en la Tabla 2, sin gafas el valor de *C* (croma) disminuye para los observadores con CVD cuando se compara con los normales, y también disminuye progresivamente con la gravedad de la condición, de manera menos notable para el conjunto de datos D2. El efecto de las gafas VINO en ambos conjuntos de datos es un aumento notable del croma. Este efecto es más marcado para los sujetos normales y protán, y el aumento es un poco menor para los sujetos deután. Comparando los resultados para los sujetos normales y los sujetos con CVD, las gafas VINO son menos eficientes en aumentar el croma para los sujetos con CVD, y este atributo contribuirá más al cambio en el contraste inducido por el uso de las gafas, ya que los cambios en la luminosidad son mucho más bajos debido al efecto de la adaptación cromática. En relación al tono de las muestras, al utilizar las gafas VINO, para los datos D1

todas las direcciones angulares medias se mueven al cuarto cuadrante, lo cual es consistente con el aspecto magenta rojizo de las escenas simuladas. La dirección angular media de las muestras de D2 ya está en el cuarto cuadrante, por lo que la variación en el tono es mucho menos notable para este conjunto de datos.

5. Conclusiones

La baja transmitancia en la región intermedia del espectro de las gafas VINO O2 Oxy-Iso produce un cambio significativo en la apariencia del color, especialmente en el atributo de croma. Este cambio permite que algunos sujetos con CVD, sobre todo los sujetos deután, puedan pasar tests de reconocimiento, como el Ishihara, pero no las pruebas de ordenación como FM100. Otros autores también han llegado a conclusiones similares [4-6]. Este cambio extremo en la percepción del color también tiene un efecto negativo en la prueba de "color naming". Las simulaciones muestran que al utilizar estas gafas el ángulo del tono se comprime y se mueve hacia el cuarto cuadrante. El croma aumenta significativamente para todas las condiciones y para los dos conjuntos de datos (D1 y D2). Por tanto, las gafas VINO no consiguen que la visión del color de sujetos CVD sea más parecida a la de sujetos normales, aunque pueden facilitar algunas tareas de discriminación. De hecho, estas gafas pueden ser útiles para algunas aplicaciones específicas (como mejorar la señal de O2 de la hemoglobina debajo de la piel) como ocurre con otros filtros de color utilizados en ciertas actividades como la caza, tiro, baja visión, etc. [11].

En resumen, nuestros resultados apoyan la hipótesis de que las gafas con filtros no pueden resolver eficazmente los problemas relacionados con la deficiencia de la visión del color.

Bibliografía

[1] M. Neitz and J. Neitz, "Curing color blindness--mice and nonhuman primates," Cold Spring Harb. Perspect. Med. **4**(11), a017418 (2014).
[2] A. Popleteev, N. Louveton, and R. McCall, "Colorizer: smart glasses aid for the colorblind," in Workshop on Wearable Systems and Applications (Wearsys '15), (ACM, 2015), 7–8
[3] L. Gomez-Robledo, E. M. Valero, R. Huertas, M. A. Martinez-Domingo, and J. Hernandez-Andres, "Do EnChroma glasses improve color vision for colorblind subjects?," Opt Express **26**, 28693-28703 (2018).
[4] R. Mastey, E. J. Patterson, P. Summerfelt, J. Luther, J. Neitz, M. Neitz, and J. Carroll, "Effect of "colorcorrecting glasses" on chromatic discrimination in subjects with congenital color vision deficiency," Investigative Ophthalmology & Visual Science **57** (2016).
[5] E. J. Patterson, "Glasses for the colorblind: their effect on chromatic discrimination in subjects with congenital red-green color vision deficiency," in International Conference on Computer Vision Systems (ICVS), 2017).
[6] N. Almutairi, J. Kundart, N. Muthuramalingam, J. Hayes, K. Citek, and S. Aljohani, "Assessment of Enchroma Filter for Correcting Color Vision Deficiency," (Pacific University (Oregon), 2017)
[7] VINO: web: www.vino.vi
[8] B. Berlin and P. Kay, Basic Color Terms: Their Universality and Evolution (University of California Press, 1969)
[9] B. Arad and O. Ben-Shahar, "Sparse recovery of hyperspectral signal from natural RGB images," in European Conference on Computer Vision – ECCV 2016, (Springer, Cham, 2016), 19-34.
[10] M. Lucassen and J. Alferdinck, "Dynamic Simulation of Color Blindness for Studying Color Vision Requirements in Practice," in Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, CGIV 2006, (Society for Imaging Science and Technology, 2006), 355-358.
[11] M. Yap, "The Effect of a Yellow Filter on Contrast Sensitivity," Ophthal Physl Opt 4, 227-232 (1984).

BYKO-SPECTRA EFFECT LIGHT BOOTH SIMULATION FOR DIGITAL RENDERING TOOL

Khalil Huraibat[1*], Esther Perales[1], Valentin Viqueira[1], Eric Kirchner[2], Ivo Van der Lans[2],

Alejandro Ferrero[3], Joaquín Campos[3]

[1]*Department of Optics, Universidad de Alicante, Alicante, Spain*

[2]*AkzoNobel Technology Group Color; Sassenheim; the Netherlands*

[3]*Instituto de Óptica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, Spain*

https://web.ua.es/gvc

1. Introduction

Nowadays, digital visualization is very common in many areas, starting from cinema applications, gaming and shopping to be widely used on many industries such as automotive, architecture and interior design. Indeed, digital simulation of gonio-apparent coatings is a very active hot topic for optical metrology, color science, computer graphics, and visual perception since this type of coatings changes visual attributes such as color and texture, depending on illumination and viewing geometry. This effect is obtained by the presence of special effect pigments containing metallic, interference or pearlescent pigments producing a strong color variation with the illumination/viewing geometry which makes it complex to characterize its appearance [1-3]. The color of these coatings is characterized by their spectral Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) measured for several geometry combinations.

Therefore, rendering of three-dimensional objects covered by these coatings is a technological challenge, since accurate color representation requires a full BRDF covering a large number of geometries which means large amount of data to deal with [4]. The encoding and representation of gonio-appearance in computer graphics platforms is usually done by 3D rendering software packages, and by applying theoretical optical models of the interaction between light and matter. For this purpose, AkzoNobel Technology Group Color developed a new 3D rendering software based on OpenGL 3.0 ES (Embedded Systems), an open source graphics library to run on an iPad tablet (2017 edition) [5]. This visualization tool is a dedicated framework for rendering complex materials such as gonio-apparent coatings, gloss, sparkle and other textured materials on 3D objects. The rendering is based on a multi-spectral physics-based approach to represent the BRDF when rendering three dimensional objects.

A first step to get visual fidelity is to simulate the illumination scene. For this we selected the Byko-spectra effect multi-directional light booth (BYK-Gardner) shown in figure1. This light booth is particularly suitable for this task, since it was designed such as to optimize the visibility of sparkle and other texture effects in gonio-apparent automotive coatings with different luminaires. The first step is to build a 3D model of the lightbooth using Blender, an open source 3D rendering software widely used for digital simulation. Nevertheless, to achieve a realistic simulation of the light-booth, there are two important components that need to be well characterized. The first is the light source with its correct spectral emission and its angular distribution profile. The second is the walls and inner surfaces of the light booth surrounding the test object as they have influence on the final appearance of the test object. To characterize the light source, we developed a methodology to include the complete light emission characteristics of the light tubes, in order to be able to consider the bidirectional reflectance for any geometry of the coatings to be rendered. This methodology is based on measured illuminance levels inside the light booth. We built six different 3D models in Blender, one for each of the different geometries supported by this lightbooth, the 45as110, 45as75, 45as45, 45as25, 45as15 and 45as-15.

Therefore, the aim of this work is to build a complete rendered simulation of the Byko-spectra effect lightbooth. This simulated light booth will be used in the next phase of this work, to support psychophysical visual experiments on the rendering of virtual objects inside the virtual lightbooth and

real samples inside the physical lightbooth to improve the visualization of 3D objects covered by effect coatings.



Figure 1: The Byko-spectra effect multi-directional light booth (BYK-Gardner).

2. Methods

The first step was to build a 3D model of the Byko-spectra effect lightbooth using Blender by defining its shape and the correct location of all its components. To construct the shape model, we used Blender. The lighting environment for the used rendering tool is specified in terms of the photometric files IES/EULUMDAT format which might be available from the manufacturer of the lightbooth or its luminaries. This enables the user to specify the luminous intensity distribution of the illumination on the reflective areas surrounding the object that needs to be rendered. Unfortunately, IES/EULUMDAT files of the light tubes inside the Byko-spectra effect light booth were not available from the manufacturer. We developed a methodology to describe the emission profile of the light tubes, in order to be able to consider the bidirectional reflectance for any geometry of the coatings to be rendered. The light source in the light booth (Philips Master PL L90 De Luxe 55W/950/4p) is simulated considering that it is composed by two separate tubes. To calculate its emission, we represent the two large tubes by N point sources along their length, where all points are assumed to have the same angular luminous intensity distribution, which needs to be determined. Under this assumption, the non-uniformity of the illuminance on the sample is produced by the near-field conditions of illumination. Inside the light booth, we measured illuminance at M positions on the sample plane of the booth [6]. In this approach, the measured value at a given position equals the sum of the illuminance contributions produced by each of the N point sources composing the light tubes. Each single illuminance depends on the relative position of each single point source with respect to the position on the sample plane, and it involves considering the angular position θ with respect to the normal to this plane. Under these conditions, and assuming a Gaussian angular luminous intensity distribution for the point sources, the best values for the Gaussian model parameters (sigma and luminous intensity at $\theta = 0°$) were obtained by fitting the modelled illuminances to the measured ones. For rendering purposes, Hietz *et al.* developed an algorithm to model polygonal light sources defined by a number of points [7]. By using this algorithm, the light tubes of the Byko can be accurately represented by a polygon composed of N points.

We also measured the spectral radiance of the light source and the spectral reflectance of the surrounding walls and surfaces. The next step is to combine all the data we have; the Blender file, the light spectrum, the light intensity distribution and the spectral reflectance of the walls by using the pre-processing to prepare the virtual environment of the Byko-spectra lightbooth to run on the 3D rendering tool using real-time OpenGL computations.

3. Results

A primary virtual model is prepared on the 3D rendering tool. The first attempt of the rendered lightbooth is shown in figure 2. It is still far from the real model since the light and walls characteristics

are not included yet. From the results of the optimization, it is possible to conclude that the behaviour of the light source installed in the Byko-spectra effect multi-directional light booth is almost isotropic since it does not depend on the angle (extremely high sigma value for N = 100 and M = 55). Therefore, each of the N points emits isotropically with the same luminous intensity. By comparing theoretical and measured illuminance levels we find good accuracy with an average error of 10%, much smaller than the inhomogeneity of the illumination on the sample. After including the corresponding light spectrum, light distribution and the reflectance of the walls, a final version of the virtual lightbooth is obtained, and we are now able to simulate objects inside the virtual light booth as they would appear inside a real Byko-spectra effect light booth. Figure 3 shows an example of this rendering, where the distribution of the illuminance on a virtual curved sample (black half-sphere) in the lightbooth is shown. Figures 2 and 3 are just to show the inner parts of the rendered lightbooth and it doesn't match with what the observer sees during the visual experiments.

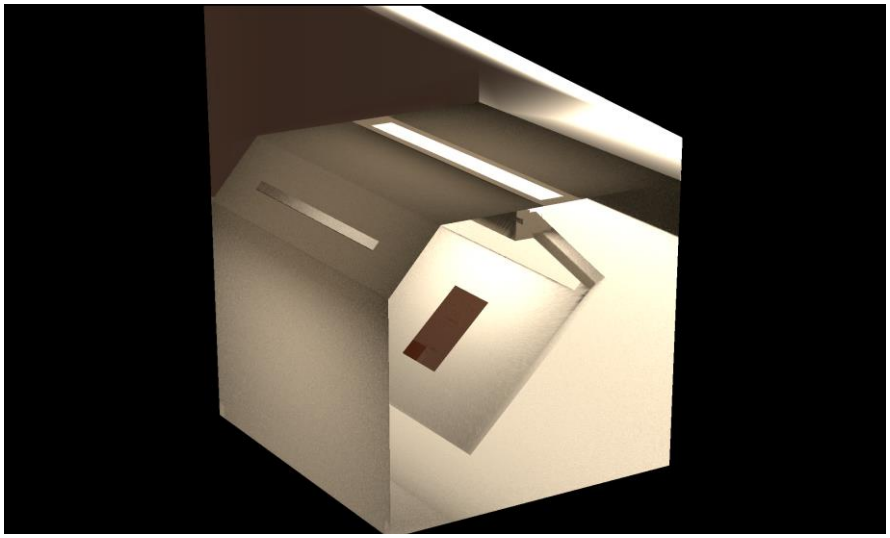


Figure 2: Tablet screenshot of the 3D rendering tool simulation of the Byko-spectra effect lightbooth (first attempt).

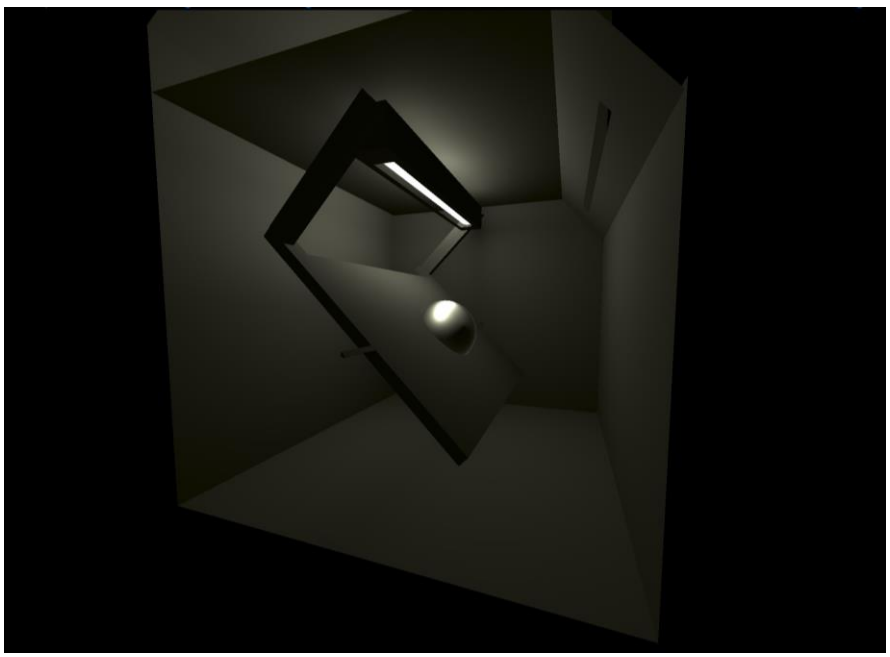


Figure 3: Tablet screenshot of the 3D rendering tool simulation of the Byko-spectra effect lightbooth (final version).

4. Conclusion

In this work, we built a virtual standardized illumination scene for visual assessment by simulating the multi-angle Byko-Spectra Lightbooth. A methodology to simulate a specific lighting scene is proposed. This methodology is based on the computation of the illuminance as produced by the sum of N point sources composing an extended source, assuming them to have a Gaussian angular luminous intensity distribution, which is characterized by comparison with measured illuminance values. This result simplifies the design of the lighting environment for the developed rendering tool. It shows that the light tubes can be accurately represented by a polygon composed of N points, and by using Real-Time Polygonal-Light Shading with the Linearly Transformed Cosines algorithm. A final version of the virtual light booth is created using OpenGL 3.0 ES. As a result, the rendered environment seems very similar to the real light boot and to the produced illumination. Further work by doing visual experiments comparing the behaviour of rendered objects covered by effect coatings and visualized inside the virtual lightbooth to the real objects inside the real lightbooth will be performed to test and then improve the visualization of such color effects.

Acknowledgments: We would like to thank the Ministry of Economy and Competitiveness for the project DPI2015-65814-R. Khalil Huraibat would also like to thank the Ministry of Economy and Competitiveness for his pre-doctoral fellowship grant (FPI BES- 2016-077325). Part of the authors (those from Universidad de Alicante and Consejo Superior de Investigaciones Científicas) works within the EMPIR 16NRM08 Project “Bidirectional reflectance definitions” (BiRD). The EMPIR is jointly funded by the EMPIR participating countries within EURAMET and the European Union.

References

[1] G., Pfaff, “Special Effect Pigments, in High Performance Pigments”. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. (2009), p. 75-101.

[2] F.J., Maile, G. Pfaff, and P. Reynders, “Effect pigments—past, present and future”. Progress in organic coatings, (2005). 54(3): p. 150- 163.

[3] G. A. Klein and T. Meyrath, Industrial Color Physics: Springer, (2010).

[4] T. Golla and R. Klein, “An efficient statistical data representation for real-time rendering of metallic effect car paints”, Proceedings of the International Conference on Virtual Reality and Augmented Reality EuroVR (Laval, France), (2017). pp. 51 – 68.

[5] Kirchner, E., van der Lans, I., Koeckhoven, P., Huraibat, K., Martínez-Verdú, F. M., Perales, E., Ferrero, A. & Campos, J. “Real-time accurate rendering of color and texture of car coatings”. Electronic Imaging, Society for Imaging Science and Technology. (2019)

[6] Martínez-Verdú, F., Perales, E., Viqueira, V., Chorro, E., Burgos, F. J., & Pujol, J. “Comparison of colorimetric features of some current lighting booths for obtaining a right visual and instrumental correlation for gonio-apparent coatings and plastics”. Proceedings of CIE, (2012).

[7] Heitz, E., Dupuy, J., Hill, S., & Neubelt, D. “Real-time polygonal-light shading with linearly transformed cosines”. ACM Transactions on Graphics (TOG), (2016). 35(4), 41.

¿Es necesario normalizar la medida de la BRDF?

Ana Maria Rabal[1*], Alejandro Ferrero[2], Guillaume Ged[1], Berta Bernad[2], Jose Luis Velazquez[2], Esther Perales[3], Alicia Pons[2], Maria Luisa Hernanz[2], Francisco Martinez-Verdu[3], Gaël Obein[1], y Joaquin Campos[2]

[1]*Laboratorie Commun de Métrologie LNE-CNAM. 61 rue du Landy, 93210 Saint Denis (Francia)*

[2]*Instituto de Óptica "Daza de Valdés". Calle Serrano, 121, 28006 Madrid (España)*

[3]*Universidad de Alicante. Carretera de San Vicente del Raspeig s/n, 03690 Alicante (España)*

1. Introducción

Objetos que tienen formas similares pueden ser identificados a través de los atributos visuales de su superficie como el color, el brillo, la textura, la transparencia, el "graininess" o los destellos ("sparkle"). La compilación de todos estos atributos visuales da la apariencia del material.

La apariencia de un producto es importante en muchos campos de la industria como la automovilística, cosmética, papelera, impresión, el diseño de nuevos materiales, plásticos y un largo etcétera, porque esto es, con frecuencia, uno de los parámetros más críticos que afectan a la elección del consumidor. Durante los últimos 20 años, los fabricantes han realizado verdaderos esfuerzos para proponer nuevos y sofisticados efectos visuales entre los que se encuentran las pinturas metalizadas, el goniocromatismo, los acabados mate, perlescentes o los efectos de destello ("sparkle").

La normativa actual y los métodos recomendados para asegurar la trazabilidad de las medidas se limita a los atributos perceptivos de objetos uniformes y homogéneos, que no se corresponden con los efectos visuales citados anteriormente. Por ejemplo, en las medidas de color, solo hay dos configuraciones normalizadas, 0º:d (irradiación difusa y detección a 0°) y 45º:0º (irradiación a 45° y detección a 0°), y sus recíprocas aprobadas por la CIE (Comisión internacional de iluminación) [1] y otras organizaciones normativas como ASTM o ISO. Esto es insuficiente totalmente en la actualidad pues hay nuevos materiales que muestran unos efectos fuertemente direccionales resultantes de los pigmentos metálicos, interferenciales o difractivos.

Esta situación es incluso peor para otros atributos visuales como el brillo, donde los patrones no han evolucionado desde 1978, o para la fluorescencia, donde los métodos de medida usados provienen de los de materiales no fluorescentes y son, a día de hoy, inadecuados para aplicaciones de nuevos materiales fluorescentes. Existe la percepción de que la industria de pigmentos de efecto especial y los sectores derivados de ella progresan más rápidamente que la normativa metrológica asociada.

Ante esta situación, se ha puesto en marcha un proyecto [2] que pretende determinar el trabajo pre-normativo requerido para establecer cómo deben llevarse a cabo las medidas de reflectancia bidireccional BRDF) en materiales y superficies actuales que muestran efectos visuales gonio-cromáticos, de brillo y de sparkle. Esta normalización es imprescindible para poder comparar resultados físicos y escalas perceptivas. La Función de Distribución Bidireccional de Reflectancia (BRDF) es la magnitud física que contiene información exhaustiva sobre la luz reflejada por una superficie y, por lo tanto, la información que determinará la apariencia visual de un producto.

En esta comunicación se presentan los parámetros y variables de medición que determinan la percepción del gonio-cromatismo, el brillo y la fluorescencia que han de ser normalizados, así como los valores que podrían ser asumidos como típicos.

Con este proyecto se mejorará drásticamente las capacidades de medida de los institutos nacionales de metrología (NMI) europeos en el campo de la gonio-reflectometría dedicado a la caracterización de la apariencia de los materiales. Las incertidumbres de medida y el tiempo de media serán reducidos; la trazabilidad para productos comerciales en el campo de la apariencia no estará asegurada todavía, pero sí se verá fortalecida. Los procedimientos que se desarrollan en este proyecto se incorporan en el mercado,

* *e-mail*: ana_maria.rabal-almazor@lecnam.net

apoyando el control de calidad en diferentes campos de producción, donde el aspecto y la calidad y la estructura de la superficie es importante.

2. Las necesidades de normalización en la industria relacionada con la apariencia

Para los fabricantes, la apariencia de un producto es importante a nivel de control de calidad, porque informa al fabricante de la fidelidad y reproducibilidad de su producción, y a nivel comercial, porque la apariencia de un producto influye directamente en el cliente y en la decisión de su compra. En los últimos 20 años, los fabricantes han realizado importantes esfuerzos para crear efectos visuales atractivos y sofisticados. Sin embargo, la actual normativa en medidas de color [3] y en medidas de brillo [4] no están adaptadas para la caracterización de estos efectos visuales tan complejos y no existe una normativa para la medida de BRDF o el destello ("sparkle").

La industria necesita nuevos métodos de medida y nuevos patrones de transferencia que permitan la caracterización del comportamiento óptico de las superficies nuevas. Estos nuevos métodos y patrones asociados tienen que ser capaces de facilitar la cuantificación de los diferentes efectos ópticos noveles tales como el sparkle o el goniocromatismo, tienen que ser fácilmente interpretables y manejables y, además, deberían ser altamente correlacionados con la evaluación visual; es decir, las medidas deben correlacionarse con la sensación visual del observador. Por este último motivo, los métodos de medida deberían considerar los parámetros geométricos del sistema visual humano: agudeza visual (resolución espacial) y campo de observación.

Esta necesidad industrial en el nuevo campo de la metrología de apariencia ha sido recogida por la CIE que ha creado un comité técnico, TC2-85, para la "Recomendación sobre los parámetros geométricos para la medida de la función de distribución bidireccional de reflectancia (BRDF)" y otro comité técnico conjunto, JTC12, sobre "la medida del sparkle y del graininess".

La necesidad de normalización se muestra también en que fabricantes de sistemas espectrofotométricos han desarrollado o están desarrollando nuevos instrumentos para estas medidas relacionadas con la BRDF, utilizando diferentes parámetros y métodos de medid, lo que conduce a que la comparación de resultados de BRDF y brillo no sea fácil.

3. Objetivos para alcanzar una normalización internacional

Los objetivos que se consideran importantes para alcanzar una normalización internacional en el campo de la apariencia visual de los objetos son:

1. Proponer parámetros estandarizados para las medidas de la BRDF de materiales específicos y superficies ópticas en el intervalo espectral visible, con el fin de mejorar la trazabilidad al sistema internacional de unidades, SI, y permitir una mejor concordancia entre los gonio-espectrofotómetros comerciales. Ello implica establecer configuraciones de los ángulos sólidos de irradiación y observación (direccionalidad y convergencia) y tamaño de las áreas de iluminación y observación.
2. Proporcionar una orientación sobre cómo muestrear la BRDF en el espacio de manera eficiente y proponer un número mínimo de geometrías de medida que suministren la información completa sobre la difusión de la luz por parte de la muestra, explicando así su apariencia.
3. Proponer acuerdos para el manejo y procesado de datos de la medida de la BRDF, puesto que se genera un conjunto grande de datos, de forma que se pueda extraer información con la mayor facilidad posible.
4. Proponer un nuevo método de medida del brillo que se correlacione con la percepción visual. Esto implica recomendaciones sobre la medición y realizar evaluaciones visuales de la percepción para alcanzar la definición de un observador patrón de brillo.
5. Proponer una definición consensuada de la percepción de "spakle" y "grainniness" y definir procedimientos para sus medidas en correlación con sus respectivas escalas visuales.

4. Estado de desarrollo de los objetivos anteriores

Los resultados que se han alcanzado o están en fase de alcanzarse son de distinta índole en cada uno de los objetivos anteriores. En esta comunicación se indicarán en qué estado se encuentran y hacia donde

apuntan los principales obtenidos, si bien están pendientes de validación y aceptación en los correspondientes comités técnicos.

En particular se presentarán resultados sobre la direccionalidad y divergencia de los haces de irradiación e iluminación, que dependen del tipo de muestra: cuasi-lambertiana, brillante, texturada o gonio-cromática; y sobre el conjunto de configuraciones geométricas que permiten una descripción completa de muestras gonio-cromáticas, que también depende en parte del efecto gonio-cromático que se usa en la muestra.

Se presentarán resultados sobre la presentación de los resultados de la BRDF: formatos y cómo obtener información inmediata de los mismos.

Se presentará una colección completa de escalas de brillo visual apropiada para hacer estudios psicofísicos y medidas de la BRDF de muestras brillantes.

Agradecimientos: Los autores agradecen al programa EMPIR por la subvención del proyecto “Bidirectinal refletance definitions” (BiRD). EMPIR es una iniciativa financiada conjuntamente entre el programa de investigación e innovación “Horizonte 2020” de la Unión Europea y los países miembros de EMPIR

Bibliografía

[1] Publicación CIE 130-1998. “Practical Methods for the Measurement of Reflectance and Transmittance”. ISBN: 978 3 900734 88 6.

[2] “Bidirectional Reflectance Definitions” (Proyecto EMPIR código 16NRM08, BiRD). https://www.birdproject.eu/.

[3] Serie de normas UNE-EN-ISO 11664.

[4] Norma UNE-EN ISO 2813:2015.

Optimización de las respuestas colorimétricas de B-Ficoeritrina tras su estabilización mediante el empleo de nanoarcillas laminares

Bàrbara Micó-Vicent[1,2*], Ruperto Bermejo[3], Esther Perales[1], Khalil Huraibat[1] y Valentín Viqueira[1]

[1]*Departameno de Óptica, Farmacología y Anatomía. Universidad de Alicante. Carretera de San Vicente del Raspeig s/n. San Vicente del Raspeig (Alicante), 03690.*

[2]*Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad. Universitat Politècnica de València, Campus d'Alcoi. Plaza de Ferrándiz y Carbonell s/n. Alcoi (Alicante), 03801.*

3 Departamento de Química Física y Analítica. Escuela Politécnica Superior de Linares. Campus Científico Tecnológico, Avda. Universidad s/n. Linares 23700, (Spain).

https://web.ua.es/gvc

1. Introducción

La B-ficoeritrina es una de las cromoproteínas más importantes en la captación de luz de algunas algas marinas, como las rodofitas, cianobacterias y criptofitas [1]. Se trata de una macromolécula biológica de la familia de ficobiliproteinas que presenta multitud de aplicaciones industriales debido a sus interesantes propiedades como son su elevado rendimiento cuántico generando alto rendimiento de fluorescencia, y su elevado coeficiente de extinción molar a λ=540 nm, que le confiere un intenso color rosa atractivo para aplicaciones como colorante natural. Dentro de la familia de las ficobiliproteinas, la B-ficoeritrina (PE) presenta ventajas a la hora de su aplicación por sus características espectrales citadas. Sus aplicaciones van desde el uso en marcadores fluorescentes de células y macromoléculas en investigación biomédica y clínica, a su empleo como colorantes naturales en alimentación o cosmética, reemplazando a colorantes sintéticos por su baja toxicidad y sus propiedades inmuno-moduladora y anticancerígenas [2].

Se han desarrollado diferentes métodos para la extracción y purificación de la PE procedente de distintas clases de algas, algunos procesos más largos y costosos, y con riesgos de oxidación durante la purificación [3], y otros métodos más recientes que sólo requieren dos pasos de cromatografía (HPLC) [4].

Una de las principales limitaciones en cuanto al empleo de esta clase de colorantes naturales es su sensibilidad a factores ambientales como la exposición a la luz, la temperatura y el pH. Se han realizado estudios para determinar la influencia de dichos factores durante el proceso de extracción y purificación. El hecho es que se recomienda emplear condiciones de almacenamiento entre -20 ºC y 4ºC para el colorante puro tras el proceso de extracción. Con el tiempo las propiedades de absorción del colorante cambian aun cumpliendo con las condiciones de temperatura y exposición a la luz recomendadas [5].

La estabilización de colorantes naturales mediante su incorporación en compuestos inorgánicos lleva realizándose desde hace siglos, como puede verse en los hallazgos de obras datadas de la cultura Maya que aún conservan colores intensos como el azul maya. Este pigmento híbrido se generaba mediante la creación de enlaces covalentes entre el colorante natural Azul índigo y sepiolita. La desventaja es que requiere temperaturas elevadas, y que las sepiolitas tienen tamaños de partícula grandes y son propensas a generar agregados, perdiendo interés para muchas aplicaciones industriales [6]. Con el empleo de nanoarcillas con diferentes estructuras es posible conseguir pigmentos híbridos nano-estructurados con propiedades mejoradas, e incluso gamas de colores ampliadas en función de las condiciones de síntesis como el valor del pH [7].

En el presente trabajo se empleará el diseño estadístico de experimentos para determinar las condiciones óptimas para la protección de B-ficoeritrina con arcillas laminares de diferentes características.

2. Materiales y Métodos

* *e-mail*: barbara.mico@ua.es

Se emplearon dos clases de nanoarcillas laminares, la montmorillonita natural (MMT), con nombre comercial Gel White® de Southern Clay Products y la Laponita sintética con referencia XLG de Rockwood Additives. Como modificadores a emplear durante el proceso de síntesis se seleccionaron el bromuro de cetilpiridinio (CPB) y 3-aminopropiltrietoxisilano (SIL). El pH durante la síntesis se cambió a ácido con HCl^- procedente de Sigma Aldrich. El método de extracción de la ficoeritrina fue realizado según la patente [8]. La ficoeritrina se preparó en una disolución buffer fosfato concentrado (250 mM).

El proceso de síntesis de pigmentos híbridos a través de las interacciones entre distintas clases de silicatos y materias orgánicas ha sido registrado, patentado y empleado en trabajos previos del grupo de investigación [9],[10]. En este trabajo en concreto se emplearon dispersiones de MMT [33 $g{\cdot}L^{-1}$] y LAP [18,8 $g{\cdot}L^{-1}$] en agua destilada. El pH se llevó a 4 con el empleo de HCL^-, y las dispersiones de las nanoarcillas se llevaron a cabo a temperatura ambiente durante 24h. Seguidamente se procedió con la modificación de las nanoarcillas en diferentes condiciones en cada muestra. Se realizó la adición del CPB en primer lugar en concentraciones de [0-10%] (g/garcilla), seguido de la adición del colorante en concentraciones [200, 67 y 33%] (ml/g arcilla), y finalmente el agente de acoplamiento tipo silano cambiando las concentraciones entre [0-10%] (g/garcilla). Los procesos de centrifugado y secado por liofilización se llevaron a cabo como en los anteriores trabajos [11].

Para determina las condiciones de síntesis se empleó el diseño estadístico de experimentos combinando los siguientes factores y niveles. Concentración de colorante [200, 67 y 33%], clase de nanoarcilla [MMT, LAP], concentración del CPB [0-10%] y concentración del SIL [0-10%]. Se seleccionó un diseño factorial multinivel $3^1{\cdot}2^3$, que resultó en 24 experimentos, los cuales se redujeron a 16 empleando la herramienta del d-óptimo y quedando las condiciones de trabajo reflejadas en la Tabla 1.

Tabla 1: Condiciones de trabajo para la obtención de pigmentos híbridos a partir de PE, MMT y LAP.

CÓDIGO	CONC[a]	CLAY[b]	SURF[c]	SIL[d]
nPE.1	3	MMT	0.15	0.15
nPE.2	3	MMT	0	0
nPE.3	1	LAP	0.15	0
nPE.4	0.5	LAP	0.15	0.15
nPE.5	3	LAP	0.15	0
nPE.6	0.5	LAP	0	0.15
nPE.7	3	LAP	0	0
nPE.8	3	LAP	0.15	0.15
nPE.9	1	MMT	0.15	0.15
nPE.10	3	LAP	0	0.15
nPE.11	1	LAP	0.15	0.15
nPE.12	0.5	MMT	0	0.15
nPE.13	0.5	LAP	0	0
nPE.14	3	MMT	0	0.15
nPE.15	0.5	MMT	0	0
nPE.16	0.5	MMT	0.15	0

[a] Concentración de Ficoeritrina en ml para 1.5 g de arcilla

[b] Estructura de nanoarcilla; Montmorillonita (MMT), o Laponita (LAP)

[c] Concentración de CPB (g) para 1.5 g de arcilla

[d] Concentación del silano (ml) para 1.5 g de arcilla

Las variables respuesta seleccionadas en este caso para el análisis de la influencia de los factores seleccionados durante la síntesis fueron extraídas tras realizar la medición de los espectros de reflectancia en un espectrómetro UV-Vis/NIR Jasco V-670, de doble haz, que cubre el rango de longitudes de onda de 190 a 2700 nm. El equipo cuenta con esfera integradora permitiendo realizar la medición de las muestras de pigmentos obtenidas en suspensión. A partir de los datos obtenidos se realizaron los cálculos para obtener las coordenadas colorimétricas en el espacio CILAB, y emplear estos resultados como respuestas para el diseño de experimentos.

3. Resultados

En la Fig.1, se pueden ver las diferencias encontrada en los atributos de color de los diferentes pigmentos híbridos resultantes del proceso de síntesis. Según las condiciones hay muestras como la nPE.16 claramente más amarillentas, y otras con tonalidades más rojizas y azuladas como la nPE.7. En cuanto a la luminosidad y saturación de las muestras también pueden verse diferencias claras, de forma que quedan muestras más oscuras y cromáticas en las condiciones fijadas para nPE.7 ó nPE.5. Sin embargo, ninguna de estas muestras tiene porqué representar en su totalidad las condiciones óptimas que podrían conseguirse mediante la combinación de factores seleccionados. Para poder determinar realmente la influencia de los factores seleccionados, así como la presencia de interacciones entre los mismos, y encontrar las condiciones de síntesis para la obtención de colores con la mayor cromaticidad gama de color, es necesario emplear el análisis del diseño de experimentos.

Para poder determinar valores óptimos en cuanto a la tonalidad deseada de las muestras se tomó como referencia la muestra sólida de una carta de color Munsell con referencia 10RP5/12, debido a su tonalidad rosácea y su cromaticidad y luminosidad. Los valores medidos y calculados para dicha referencia fueron, L_{ab}* = 50.31, C_{ab}*= 49.8, a* = 49.08 y b* =8.46

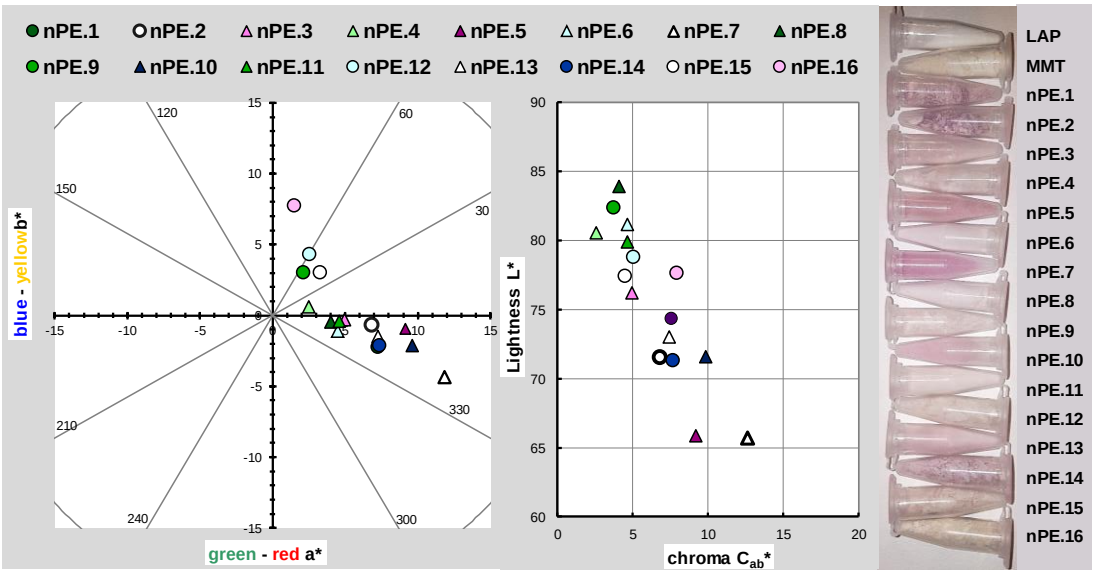


Figura 1: Representación gráfica de la codificación CIELAB de las muestras pigmentos sintetizados en diferentes condiciones [nPE.1-nPE.16], bajo iluminante D65 y observador patrón CIE-1931 XYZ. Izquierda: diagrama cromático CIE-a*b*; derecha: diagrama cromático CIE-Cab*L*.

Para el análisis estadístico se emplearon los diagramas de Pareto y gráfico de las interacciones para las respuestas de a*, b*, L_{ab}* y C_{ab}* de las 16 muestras sintetizadas. En la Fig.2 puede verse el ejemplo representado de los efectos de los factores sobre el valor de la coordenada b* de las muestras. En los casos en los que b* toma valores muy altos se obtienen resultados de muestras más amarilleadas y con tonalidades menos interesantes teniendo en cuenta la referencia planteada. Se planteó el análisis fijando el valor óptimo en el nivel de la referencia a 8.46. El diagrama de Pareto muestra que son significativos los efectos simples de tres de los cuatro factores seleccionados, y además también es significa la interacción entre la arcilla y la concentración del colorante PE añadido. En este caso para evitar el incremento del parámetro b* y con ello el amarilleamiento de las muestras lo óptimo es emplear arcilla LAP, con concentración alta de PE y sin el CPB. Con el resto de respuestas se realizó la misma clase de análisis en todas coincidieron los mejores resultados empleando la arcilla LAP, con elevada concentración de PE, sin el empleo de CPB y sin efectos significativos del agente de acoplamiento SIL. En parte se esperaban los resultados debida a la coloración natural de la MMT. Ahora bien, a la hora de seleccionar los modificadores de las nanoarcillas habrá que tener en cuenta su influencia sobre el color final percibido con esta clase de colorante natural. Resultó interesante también la estabilidad a temperatura ambiente de los pigmentos híbridos sintetizados en cualquiera de las condiciones, sin mostrar signos de degradación como ocurriría con el colorante natural original.

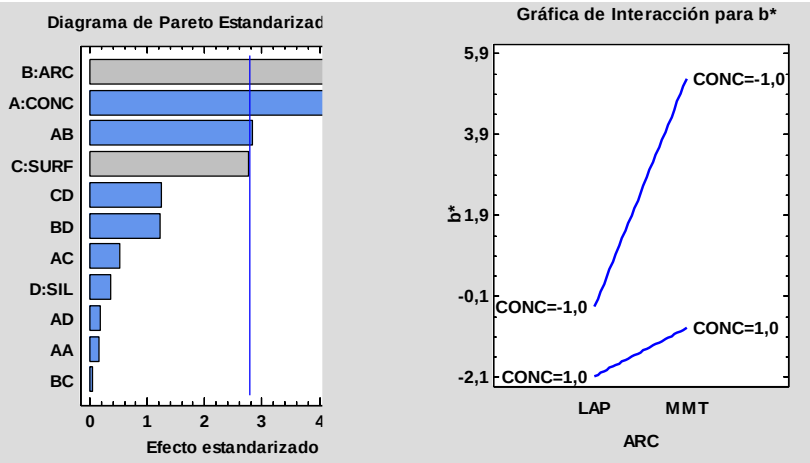


Figura 1: Gráficos para el análisis de los efectos de los factores sobre el parámetro b* de las muestras. Izquierda: gráfico de los efectos simples, Derecha: gráfico de las interacciones entre la nanoarcilla MMT o LAP, y la concentración de la PE.

4. Conclusiones

Ha sido posible obtener pigmentos híbridos con tonalidades rosáceas mediante la incorporación del colorante natural PE en dos nanoarcillas laminares. Los resultados más interesantes a nivel colorimétrico se obtuvieron con la nanoarcilla sintética LAP, sin el empleo de CPB y empleando una concentración elevada del 200% sobre peso de arcilla del colorante.

Agradecimientos: Al Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Almería (Dr. F.G. Acién Fernández) por proveer de la biomasa de la microalga *Porphyridium cruentum*.

Bibliografía

[1] E. Gantt and C. A. Lipschultz, "Phycobilisomes of Porphyridium cruentum. Pigment analysis," *Biochemistry*, vol. 13, no. 14, pp. 2960–2966, 1974.

[2] J. Fleurence, "R-phycoerythrin from red macroalgae: strategies for extraction and potential application in biotechnology," *Appl. Biotechnol. Food Sci. Policy*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2003.

[3] R. V. Swanson and A. N. Glazer, "Separation of phycobiliprotein subunits by reverse-phase high-pressure liquid chromatography," *Anal. Biochem.*, vol. 188, no. 2, pp. 295–299, Aug. 1990.

[4] R. Bermejo, E. M. Talavera, and J. M. Alvarez-Pez, "Chromatographic purification and characterization of B-phycoerythrin from Porphyridium cruentum: Semipreparative high-performance liquid chromatographic separation and characterization of its subunits," *J. Chromatogr. A*, vol. 917, no. 1–2, pp. 135–145, May 2001.

[5] M. Munier *et al.*, "Physicochemical factors affecting the stability of two pigments: R-phycoerythrin of Grateloupia turuturu and B-phycoerythrin of Porphyridium cruentum," *Food Chem.*, vol. 150, pp. 400–407, May 2014.

[6] M. Sánchez del Río, A. Doménech, M. T. Doménech-Carbó, M. L. Vázquez de Agredos Pascual, M. Suárez, and E. García-Romero, "The Maya Blue Pigment," *Dev. Clay Sci.*, vol. 3, pp. 453–481, Jan. 2011.

[7] E. R. Baena Murillo, B. Micó-Vicent, and F. M. Martínez-Verdú, "Method for the synthesis of nanostructured hybrid pigments having properties that can be syntonized," *US Pat. WO201311084 1A1*, vol. 1, 2018.

[8] R. Bermejo Román, F. G. Acién Fernández, M. J. Ibáñez González, J. M. Álvarez Pez, and E. Molina Grima, "Proceso para la obtención y purificación de B-Ficoeritrina," 2004.

[9] M. Verdú and F. Miguel, "2 568 833," 2011.

[10] B. Micó-Vicent, J. Jordán, E. Perales, F. Martínez-Verdú, and F. Cases, "Finding the Additives Incorporation Moment in Hybrid Natural Pigments Synthesis to Improve Bioresin Properties," *Coatings* , vol. 9, no. 1. 2019.

[11] B. Micó-Vicent, J. Jordán, F. Martínez-Verdú, and R. Balart, "A combination of three surface modifiers for the optimal generation and application of natural hybrid nanopigments in a biodegradable resin," *J. Mater. Sci.*, vol. 52, no. 2, 2017.

Imagen multiespectral polarizada para el diagnóstico del cáncer de piel

Laura Rey-Barroso[1*], Francisco J. Burgos-Fernández[1], Fernando Díaz-Doutón[1], Sara Peña-Gutiérrez[1], Santiago Royo[1], Miguel Ares[1], Susana Puig[2], Josep Malvehy[2], Giovanni Pellacani[3] y Meritxell Vilaseca[1]

[1]*Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas. Rambla de Sant Nebridi 10, Terrassa*

[2]*Hospital Clínico de Barcelona, Servicio de Dermatología. Calle de Villarroel 170, Barcelona*

[3]*Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia. Via Università 4, Módena*

http:// www.cd6.upc.edu

1. Introducción

La incidencia del cáncer de piel aumenta cada año, por lo que su diagnóstico y tratamiento son cruciales. La Organización Mundial de la Salud estima que 60.000 personas mueren cada año por cáncer de piel: 48.000 por melanoma, el más agresivo, y 12.000 por otros tipos no melanocíticos. La inspección visual y la dermatoscopia son el diagnóstico clásico, pero suelen producir un alto porcentaje de falsos positivos. Hoy en día, el estándar de referencia es la biopsia que consiste en la extirpación quirúrgica y el análisis histológico. Esto representa un gran coste económico y personal al ser un proceso invasivo. Con este propósito, la técnica está evolucionando hacia el análisis cuantitativo y no invasivo que ofrece la óptica y la fotónica. Un ejemplo es la imagen multiespectral que evalúa varias bandas espectrales con alta resolución espacial, mostrando características espectrales de las lesiones que pueden variar al volverse malignas. Además, la textura de la lesión puede cambiar y con ello el estado de polarización de la luz reflejada. Sin embargo, la mayoría de las imágenes multiespectrales solo se adquieren utilizando un analizador (dos polarizadores completamente cruzados, 90º) para disminuir la reflexión especular de la superficie de la piel.

Por lo general, los sistemas multiespectrales para el análisis de la piel trabajan de 400 nm a 950 nm [1], llegando algunos hasta 1613 nm [2]. Utilizan iluminación indirecta por medio de filtros sintonizables de cristal líquido [3] o ruedas de filtros [4], o bien iluminación directa mediante fuentes de luz multiplexadas [1,2]. A pesar de que la sensibilidad y la especificidad de estos sistemas han alcanzado valores similares a los obtenidos por dermatólogos a través de la dermatoscopia, aún no han superado a los de una biopsia. Existen dispositivos multiespectrales comerciales, como SIAscope® y MelaFind®, capaces de detectar lesiones malignas como el melanoma. Estos proporcionan valores muy altos de sensibilidad, pero bajos de especificidad. Por otro lado, se sabe que la polarización de la luz puede proporcionar información adicional ya que es una característica física más general que la intensidad y ortogonal a la longitud de onda [5]. La combinación de imágenes multiespectrales con los estados de polarización de la luz en diferentes ángulos puede representar un paso adelante en el análisis de las lesiones de la piel [6, 7]. Por lo tanto, en este trabajo proponemos la evaluación no invasiva de lesiones de la piel a través de un sistema multiespectral polarizado (SMP) que incluye un analizador con configuraciones de polarización de 0º, 45º y 90º.

2. Sistema de imagen multiespectral polarizado y estudio clínico

El SMP desarrollado (Fig. 1) trabaja en los rangos visible (VIS) e infrarrojo cercano (NIR) y en tres configuraciones de polarización [7]. Consiste en una cámara CCD DMK 23U445 de 12 bits y 1280 x 960 píxeles (The Imaging Source Europe GmbH) con un objetivo Cinegon 1.8 / 16 (Schneider-Kreuznack), permitiendo un campo de visión de 15 mm x 20 mm. La iluminación consta de un anillo de 32 LEDs con cuatro unidades por canal espectral: 414 nm, 447 nm, 477 nm, 524 nm, 671 nm, 735 nm, 890 nm y 995 nm. Además, se incluyeron dos polarizadores que trabajan de 400 nm a 700 nm y con un 38% de transmisión para luz no polarizada; uno está ubicado frente a los LEDs y el otro frente al objetivo. El último se rota con respecto al primero para adquirir las imágenes espectrales en tres ángulos de polarización: 90º (polarizadores cruzados), 45º y 0º (polarizadores paralelos). Al estar cruzados, se elimina el reflejo

* *e-mail*: laura.rey.barroso@upc.edu

especular de la piel, mientras que cuando son paralelos aparecen reflejos especulares los cuales no sufren cambios del estado de polarización. Este efecto es más notable en longitudes de onda más cortas, ya que generalmente son fuertemente reflejadas por la superficie de la piel. Dado que los polarizadores trabajan hasta 700 nm, las tres últimas bandas espectrales (735 nm, 890 nm y 995 nm) no se consideraron.



Figura 1: Componentes del SMP: 1. cámara, 2. objetivo, 3. anillo LED, 4. polarizadores.

Las medidas clínicas se llevaron a cabo en el Hospital Clínic i Provincial de Barcelona y en la Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, en el marco del proyecto europeo DIAGNOPTICS ("Diagnosis of skin cancer using optics"). Todos los pacientes dieron su consentimiento informado por escrito y se obtuvo la aprobación del comité ético. El estudio cumplió con los principios de la Declaración de Helsinki de 1975 (revisión de Tokio, 2004). Las lesiones fueron diagnosticadas por dermatólogos utilizando un dermoscopio comercial y el microscopio de barrido láser confocal VivaScope® 1500 de MAVIG GmbH. Cuando se sospechó malignidad, se extirpó la lesión y se realizó un análisis histológico. Se evaluaron un total de 654 lesiones cutáneas de las cuales el 94,8% (620) se pudo medir con el prototipo desarrollado mientras que el 5,2% (34) restante, no fue posible medirlo debido a la localización de la lesión. En este trabajo se presenta un estudio preliminar de 20 nevus y 20 melanomas del conjunto total de lesiones.

3. Cálculo de parámetros de polarización y análisis estadístico

Se obtuvieron las imágenes en cinco bandas espectrales desde 414 nm a 671 nm y para las configuraciones de polarización de 0º, 45º y 90º para las lesiones incluidas en el estudio. La Fig. 2 muestra ejemplos de las mismas para 414 nm y 671 nm, para un nevus y un melanoma. Se puede observar que las reflexiones especulares se eliminan a 90º pero están muy presentes a 0º. Dependiendo del tipo de piel y lesión, la intensidad de la luz polarizada reflejada puede variar en las diferentes longitudes de onda.

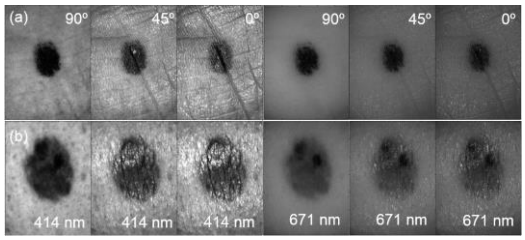


Figura 2: Imágenes obtenidas con el SMP de un nevus (a) y un melanoma (b) a 90º, 45º, 0º para 414 nm y 671 nm.

El estado de polarización medido con el sistema desarrollado es parcialmente lineal, ya que el estado total de polarización solo se ha podido evaluar por medio de imágenes de Stokes [8]. Según la literatura, la luz lineal y parcialmente polarizada se describe mediante tres parámetros: la orientación de la polarización lineal, conocida como ángulo de polarización θ (Ec. (1)); la intensidad de la imagen que se calcula como la suma de las imágenes de polarización en 0º y 90º (Ec. (2)) [5]; la proporción relativa de polarización lineal, conocida como el grado de polarización, que varía entre 0 y 1 desde la luz no polarizada hasta la completamente polarizada linealmente; sin embargo, a menudo se reemplaza por el contraste de estado ortogonal, *OSC*, que es menos complejo (Ec. (3)) [9].

$$\theta = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{I_0+I_{90}+2I_{45}}{I_{90}-I_0}\right) + 90 \quad (1)$$

$$si\ (I_{90} < I_0)[if(I_{45} < I_0)\theta = \theta + 90\ si\ no\ \theta = \theta - 90]$$

$$Intensidad = I_0 + I_{90} \quad (2)$$

$$OSC = \frac{I_{90}-I_0}{(I_{90}+I_0)} \quad (3)$$

donde I_0, I_{45} y I_{90} corresponden al nivel digital de las imágenes en las configuraciones de 0º, 45º y 90º.

Una vez calculados estos parámetros para todas las lesiones, estas se segmentaron de la piel sana circundante para aislar la información de polarización, y se calcularon los descriptores estadísticos de primer orden (promedio, desviación estándar, máximo y mínimo) así como parámetros provenientes del histograma de la imagen (energía, entropía y tercer momento central) [10]. Estos estadísticos de primer orden se compararon entre las dos etiologías mediante el programa SPSS® statistics V23.0 (IBM Corp.). Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas para $p < 0{,}05$. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) para evaluar la distribución normal de todos los parámetros y la prueba de la t-Student (TS) para comparar los parámetros distribuidos normalmente entre los grupos. Para las variables no paramétricas, se utilizó la prueba U de Mann-Whitney (MWU).

4. Resultados

Las lesiones presentadas en la Fig. 2 también se muestran posteriormente una vez procesadas. La Fig. 3 contiene las imágenes espectrales para los parámetros de polarización descritos en las Ecs. (1-3). Respecto al ángulo de polarización θ, el nevus se puede distinguir en ambas longitudes de onda (Fig. 3(a)) pero el melanoma es apenas visible, intuyéndose sólo a 671 nm (Fig. 3(b)). En las imágenes de intensidad que se muestran en la Fig. 3 (c) y (d), el componente especular disminuye a medida que la luz penetra más en el tejido y está más dispersa para longitudes de onda más largas, mientras que la intensidad aumenta especialmente a 671 nm en el caso del melanoma. En términos de contraste de estado ortogonal *OSC* (Fig. 3 (e) y (f)), se obtuvieron valores más altos en las bandas espectrales más cortas, lo que significa que una mayor polarización parcial de la luz reflejada.

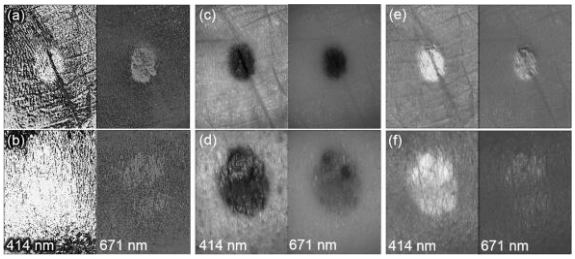


Figura 3: Imágenes desde 414 nm y 671 nm para un nevus (a), (c) y (e) y un melanoma (b), (d) y (f) del ángulo de polarización θ de 40º a 180º (a) y (b), intensidad de 0,02 a 0,12 (c) y (d) y estado de contraste ortogonal *OSC* de -0,4 a 0,8 (e) y (f).

La prueba KS encontró descriptores estadísticos con distribución normal y no normal y, por lo tanto, se aplicaron las pruebas MWU y TS para hallar diferencias estadísticamente significativas entre los nevus y los melanomas. El promedio y la desviación estándar del ángulo de polarización a 414 nm mostraron diferencias con $p < 0{,}001$. Otros parámetros que se consideraron relevantes fueron aquellos con $p < 0.05$, entre los cuales destacó la desviación estándar del ángulo de polarización a diferentes longitudes de onda. Como ejemplo, la Fig. 4 contiene diagramas de dispersión del promedio del ángulo de polarización a 414 nm y la desviación estándar del ángulo de polarización a 671 nm. A 414 nm, los melanomas mostraron valores medios más altos del ángulo de polarización, mientras que los valores de los nevus se mantuvieron por debajo. El diagrama de dispersión para la desviación estándar a 671 nm reveló el comportamiento opuesto con los melanomas, que presentan valores más bajos.

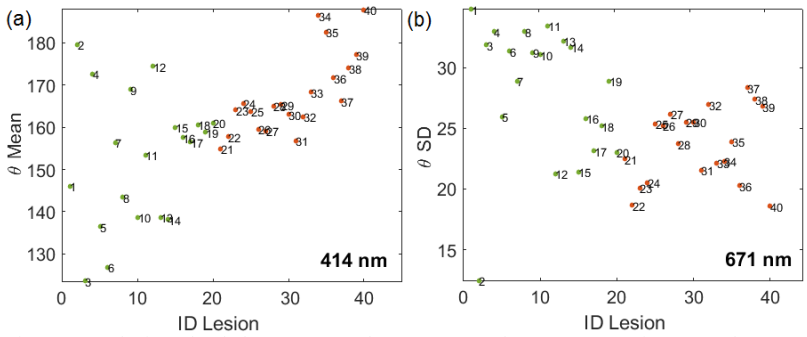


Figura 4: Los descriptores estadísticos donde los puntos verdes son nevus y los puntos naranjas son melanomas. Promedio del ángulo de polarización a 414 nm con $p < 0{,}001$ (a) y desviación estándar del ángulo de polarización a 671 nm con $p < 0{,}05$ (b).

5. Conclusiones

En este trabajo, se utiliza un sistema de imagen polarizado multiespectral para mejorar el diagnóstico de cáncer de piel, especialmente para discriminar entre melanomas y nevus. Las imágenes del SMP mostraron diferencias cualitativas entre estos tipos de lesiones que se cuantificaron a través del ángulo de polarización, intensidad y contraste del estado ortogonal. El uso de descriptores estadísticos de primer orden y el análisis estadístico posterior reveló diferencias estadísticamente significativas entre los melanomas y los nevus, especialmente en longitudes de onda corta y, principalmente, para el promedio y la desviación estándar del ángulo de polarización. El trabajo futuro se centrará en procesar todo el conjunto de lesiones de la piel para incluirlas en el análisis estadístico. Además, se considerará el uso de algoritmos supervisados de aprendizaje automático como un método alternativo para clasificar las lesiones de la piel.

Agradecimientos: Al Ministerio de Economía y Empresa por la financiación del proyecto DPI2017-89414-R.

Bibliografía

[1] X. Delpueyo, M. Vilaseca, S. Royo, M. Ares, L. Rey-Barroso, F. Sanabria, S. Puig, J. Malvehy, G. Pellacani, J. Vázquez, G. Solomita, T. Bosch, "Multispectral imaging system based on light emitting diodes for the detection of melanomas and basal cell carcinomas: a pilot study" J. Biomed. Optics. and Technol., 22, 65006 (2017)

[2] L. Rey-Barroso, F. J. Burgos-Fernández, X. Delpueyo, M. Ares, S. Royo, J. Malvehy, S. Puig, M. Vilaseca, "Visible and Extended Near-Infrared Multispectral Imaging for Skin Cancer Diagnosis" Sensors, 18 (2018)

[3] I. Kuzmina, I. Diebele, D. Jakovels, J. Spigulis, L. Valeine, J. Kapostinsh, A. Berzina, "Towards noncontact skin melanoma selection by multispectral imaging analysis" J. Biomed. Opt., 16 (2011)

[4] R. Jolivot, Y. Benezeth, F. Marzani, "Skin parameter map retrieval from a dedicated multispectral imaging system applied to dermatology/cosmetology" Int. J. Biomed. Imaging, 2013 (2013)

[5] L. B. Wolff, "Polarization vision: a new sensory approach to image understanding" Image Vision Comput., 15 (1997)

[6] F. Vasefi, N. MacKinnon, R.B. Saager, A.J. Durkin, R. Chave, E. H. Lindsley, D. L. Farkas, "Polarization-Sensitive Hyperspectral Imaging in vivo: A Multimode Dermoscope for Skin Analysis" Nature Sci. Reps., 4, 4924 (2014)

[7] P. Ghassemi, T. E. Travis, L. T. Moffatt, J. W. Shupp, J. C. Ramella-Roman, "A polarized multispectral imaging system for quantitative assessment of hypertrophic scars" Biomed. Opt. Express, 5, 10 (2014)

[8] J. Dupont, M. Boffety and F. Goudail, "Precision of polarimetric orthogonal state contrast estimation in coherent images corrupted by speckle, Poisson, and additive noise" JOSA A., 35, 6 (2018)

[9] D. L. Andrews, Instrumentation in Photonics, Volume 4: Biomedical Photonics, Spectroscopy, and Microscopy (John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2015) pg. 279.

[10] G. Ritter and J. Wilson, Image Features and Descriptors in Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra, (CRC Press, Boca Raton, FL, 2000)

Caracterización multiespectral de una carta de color con cámara de consumo y varios iluminantes de diferente composición espectral

Jose Vicente del Valle, Ignacio Tortajada, Ismael Lengua, y Fernando Brusola

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Universitat Politècnica de València

1. Resumen

Hasta la fecha se han utilizado dispositivos basados en el uso de filtros de banda ancha o estrecha acoplados a una cámara monocromática de laboratorio para reconstruir la curva de reflectancia espectral de una muestra de color y reducir así el efecto metamérico. En este artículo se presenta un dispositivo experimental que se compone de dos iluminantes con diferente composición espectral y una cámara digital de consumo. Para medir los resultados obtenidos con el dispositivo, se ha empleado una carta de color con 140 parches (135 usados para el entrenamiento y 5 para control). La calidad de los resultados obtenidos es similar a la que se consigue con el uso de filtros tanto con métricas espectrales como perceptuales y metaméricas. El uso de dos iluminantes, en lugar de uno solo, incrementa la precisión de la medida y reduce drásticamente el efecto metamérico.

2. Introducción

Los escáneres y las cámaras digitales de hoy en día capturan la información visual en *RGB*. Con esta información solamente es posible efectuar una reproducción metamérica de un original [1]. Sin embargo, si la reproducción se efectuara intentando reconstruir la curva de reflectancia o emitancia espectral del original se conseguiría el ajuste entre original y reproducción bajo cualquier condición de observación, cosa que solamente sería posible en unas condiciones dadas con la reproducción metamérica [2-4].

En el mercado existen espectrorradiómetros que permiten capturar la composición espectral de cada pixel de una imagen, pero suelen ser bastante caros. Para combinar la capacidad de realizar medidas espectrales de alta resolución espacial con el precio de una cámara o un escáner convencional, se han utilizado filtros de banda ancha o estrecha acoplados a una cámara convencional [5-7] con resultados positivos y una reducción significativa del efecto metamérico. En este artículo se presenta un procedimiento alternativo al uso de filtros de banda ancha, consistente en hacer una doble captura con dos iluminantes con diferente composición espectral y una cámara digital de consumo [8].

3. Método

El dispositivo experimental se compone de una carta de color ColorChecker SG, cuatro lámparas Led AA43342 -10W - 2700K, cuatro lámparas Led AA43342 - 10W- 6500ºK, una cámara Canon 550D con el objetivo Canon 50mm f1.4 y el espectrofotómetro Eye One Pro-2 de XRite®. En la Fig. 1 pueden observarse las curvas de distribución espectral de las lámparas utilizadas.

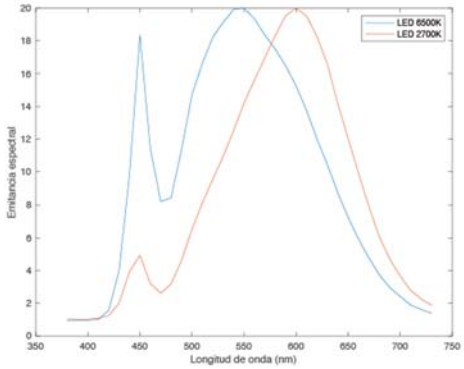


Figura 1: Curvas de emitancia espectral de las lámparas LED utilizadas para la captura.

La carta de color ColorChecker SG contiene 140 parches de entre los que 5 de ellos (A2 neutro, B5

azul, D9 verde, L3 rojo y M7 amarillo) han sido seleccionados como parches de control. Estos parches no se han utilizado para el entrenamiento del sistema.

Con ayuda del espectrofotómetro se realiza la medición espectral de los 135 parches de entrenamiento y de los 5 parches de control obteniendo las matrices S^T *(135x36)* y S^C *(5x36)* respectivamente. Las filas de S^T y S^C corresponden a colores diferentes de la carta y las columnas corresponden a la medida de la reflectancia espectral muestreada a intervalos de 10 nm entre los 380 nm y los 730 nm.

A continuación, se tomaron dos fotografías de la carta de color empleando la cámara de consumo. Una de estas fotografías se capturó con una iluminación generada con una lámpara led con temperatura de color de 6500ºK y la otra con lámparas led con temperatura de color de 2700ºK. La iluminancia media sobre la carta de color fue unos 1000 lux. Todos los ajustes de la cámara digital se fijaron, en modo manual en las dos capturas, a los siguientes valores: apertura 2.8, tiempo de exposición 1/320 s, distancia focal 50 mm, ISO 100. La única diferencia entre ambas tomas fue la composición espectral del iluminante.

Los valores *RGB* medidos por la cámara fueron ajustados al espacio *sRGB* mediante un software de revelado RAW (Camera Raw de Adobe®) y después fueron transformados al espacio *XYZ* según IEC61966-2-1:1999 [9] obteniendo las matrices C^T_{2700} (135x3), C^T_{6500} (135x3), $C^T_{2700+6500}$ (135x6), C^C_{2700} (5x3), C^C_{6500} (5x3), $C^C_{2700+6500}$ (5x6). El superíndice es *T* o es *C* según se trate de parches de entrenamiento o control. El subíndice *2700 y 6500* según si los valores *XYZ* fueron obtenidos a partir de las capturas con las iluminaciones correspondientes con *2700ºK*, a *6500ºK*. El subíndice *2700+6500* corresponde con la matriz de seis columnas que reúne las dos ternas de valores anteriores. Las filas de todas las matrices se corresponden con los distintos parches de la carta.

S^T se puede expresar como combinación lineal de C^T según (1)

$$S^T = C^T \cdot X \tag{1}$$

La matriz buscada, *X*, podrá determinarse a partir de la Eq. (2)

$$X = pinv(C^T) \cdot S^T \tag{2}$$

Se ha utilizado la matriz pseudoinversa de Moore-Penrose, que minimiza el error cuadrático medio *RMS*, para calcular la matriz *X* (aunque no sea éste el único enfoque posible [10]). Conocida la relación entre S^T y C^T se puede obtener una estimación de las curvas de reflectancia espectral de los parches de control, $\hat{S}^C$, a partir de C^C según la Eq. (3). Finalmente se compara S^C y $\hat{S}^C$ para medir la calidad de la reconstrucción según las métricas *RMS* (Root Mean Square), *CC* (coeficiente de correlación), *CIEDE2000* [11-12] y *PI* (índice de metamerismo corregido mediante la descomposición paramérica de Fairman [13]).

$$\hat{S}^C = C^C \cdot pinv(C^T) \cdot S^T \tag{3}$$

Siendo $\hat{S}^C$ la estimación de la matriz de curvas espectrales del grupo de control.

Las métricas RMS y CC se han calculado según las Eqs. (4-5)

$$RMS_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left(s_{ij}^C - \hat{s}_{ij}^C\right)^2 \tag{4}$$

$$CC_i = \frac{n\sum_{j=1}^{n} s_{ij}^C \hat{s}_{ij}^C - \sum_{j=1}^{n} s_{ij}^C \sum_{j=1}^{n} \hat{s}_{ij}^C}{\sqrt{n\sum_{j=1}^{n}\left(s_{ij}^C\right)^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} s_{ij}^C\right)^2}\sqrt{n\sum_{j=1}^{n}\left(\hat{s}_{ij}^C\right)^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} \hat{s}_{ij}^C\right)^2}} \tag{5}$$

Siendo s_{ij}^C y $\hat{s}_{ij}^C$ los elementos de la fila *i* y columna *j* de las matrices S^C y $\hat{S}^C$, respectivamente. Dónde *n* es el número de columnas de S^C y $\hat{S}^C$, que corresponde con el número de longitudes de onda consideradas en las curvas espectrales (en nuestro caso: 36).

RMS_i *y* CC_i corresponden con los valores *RMS y CC* calculados con respecto a los datos espectrales medidos y estimados para la muestra de control *i*, es decir con respecto a los valores de la fila *i* de S^C *y* $\hat{S}^C$ respectivamente.

La métrica *CIEDE2000* se ha calculado transformando previamente los datos espectrales medidos y estimados al espacio *CIELAB*, determinando previamente las componentes cromáticas *XYZ* con iluminante

*D65 (*que es el iluminante de espacio de color *sRGB* utilizado durante el revelado *RAW)* y observador estándar de *2°*, y aplicando, posteriormente, la fórmula *CIEDE2000* definida en [11].

CIE 15:2004 [14] define un indice especial de metamerismo debido al iluminante que coincide con la diferencia de color ΔE^*_{ab} entre la referencia y la muestra cuando sea determinado bajo las condiciones de iluminación de prueba, siempre y cuando $\Delta E^*_{ab} = 0$ bajo las condiciones de iluminación de referencia. Dicha norma propone el iluminante *D65* como iluminante de referencia y al iluminante *A* (entre otros) como iluminante de prueba. El problema de este índice es que para que tenga validez la diferencia ΔE^*_{ab} tiene que ser nula bajo las condiciones de iluminación de refencia, cosa que no ocurre en la mayoría de los casos (como es el nuestro).

Para resolver el problema indicado Fairman [13], basándose en el hecho de que siempre es posible descomponer la reflectancia espectral de una muestra en dos componentes: la componente fundamental y el negro metamérico, y en la condición de que dos estimulos deben tener la misma componente fundamental y diferente negro metamérico para que sean metaméricos (obviamente, la componente fundamental y el negro metamérico obtenidos bajo las condiones de iluminación estándar). La corrección, pues, consiste en sustituir la componente fundamental de la muestra por la de la referencia manteniendo su propio negro metamérico.

De este modo, se justifica el cálculo del indice *IP* utilizado, definido por las Eqs. (6), tomando como condicones estandar: iluminante *D65* y observador estándar de *2°*, y como condiciones de prueba: iluminante *A* y observador estándar de *2°*.

$$\begin{aligned} Q &= d_{65}xyz_2 \\ R &= Q(Q'Q)^{-1}Q' \\ S^{C*\prime} &= RS^{C\prime} \\ \hat{B}^{C\prime} &= (I - R)\hat{S}^{C\prime} \\ \hat{S}^C_c &= S^{C*} + \hat{B}^C \end{aligned} \tag{6}$$

Siendo:

d_{65} la matriz diagonal de la curva espectral del iluminante *D65* de dimensiones *(36x36).*

xyz_2 una matriz de *(36x3)* cuyas columnas corresponden con la composición espectral de los valores triestímulo $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ del observador estándar de 2°.

R es la matriz necesaria para el cálculo de la componente fundamental, según Fairman [13].

S^{C*} es la matriz de componentes fundamentales del grupo de control

$\hat{B}^C$ es la matriz de negros metaméricos de las curvas espectrales estimadas del grupo de control.

$\hat{S}^C_c$ es la matriz de curvas espectrales corregidas respecto de la estimadas del grupo de control.

Finalmente, *IP* se calcula como la diferencia de color ΔE^*_{ab} entre los estímulos S^C y $\hat{S}^C_c$ bajo el iluminante *A* y el observador estándar de *2°*.

La métrica RMS nos proporciona una idea de lo que se desvía una curva con respecto a la otra. Si RMS=0 entonces las dos curvas comparadas son idénticas en todos sus puntos. En general, un valor pequeño de RMS corresponde con una desviación pequeña. El problema es que esta métrica no está relacionada linealmente con la sensación visual de diferencia de color. Incluso, puede ocurrir que dos estímulos con grandes diferencias en la forma de la curva espectral, lo que implica grandes valores de RMS, pueden generar sensaciones de color muy parecidas, como sucede a menudo con los pares metaméricos. En este sentido, valores pequeños de RMS solamente nos servirán para indicar que las curvas espectrales serán parecidas, objetivo de nuestro estudio, pero esto no nos proporcionará una idea de lo parecidas o diferentes que se percibirán las diferencias de color, aunque sí, de una forma aproximada, nos permitirá argumentar que las diferencias percibidas de color entre la muestra y la reproducción se mantendrán en alguna medida constantes cuando varíen las condiciones de observación.

El coeficiente de correlación solamente proporcionará una idea del grado de relación lineal entre los

valores espectrales, sabiendo que CC=1 significa coincidencia perfecta de curvas espectrales y CC=0 que la coincidencia se alejará mucho de la relación lineal entre los valores espectrales. Esta métrica no será muy recomendable para comparar muestras relativamente neutras, porque en se caso la mayoría de valores de reflectancia se podrían concentrar en un rango muy pequeño lo que podría dar lugar a valores de CC muy alejados de 1.

La diferencia de color CIEDE2000 resulta muy adecuada para la comparación visual entre muestras, ya que la formula ha sido desarrollada para ajustar muy bien con la sensación de color percibida por los observadores.

El índice de metamerismo *IP* utilizado nos proporcionará una idea del grado de metamerismo entre las referencias y estimaciones. Un índice bajo significará pequeños cambios de la diferencia de color entre la referencia y la estimación cuando cambien las condiciones de iluminación. Siempre teniendo en cuenta que el índice tendrá mayor validez cuando las diferencias de color no sean demasiado grandes bajo las condiciones de iluminación estándar.

4. Resultados

En la Fig. 2 se muestran las curvas de reflectancia espectral de los parches de control originales (líneas discontinuas) y reconstruidos (líneas continuas) a 2700K, 6500K y con dos iluminantes. Como se puede observar de manera cualitativa, en general, las curvas espectrales reconstruidas a partir de los datos combinados de 2700K y 6500K ajustan mejor que las obtenidas a partir de los datos individuales. Comparando las curvas espectrales obtenidas a partir de datos individuales exclusivamente, se observa que las discrepancias aumentan más en la parte de las curvas más próximas al rojo cuando la estimación se realiza con iluminación de 6500K y en la zona de las curvas más próximas al azul cuando la estimación se realiza con iluminación de 2700K. Quizás esto pueda ser debido a la falta de componentes de longitud de onda de cada uno de los iluminantes en cada una de las zonas donde se aprecia la diferencia mayor. Parece lógico observar que la que mejor ajuste sea la curva estimada a partir de los datos combinados.

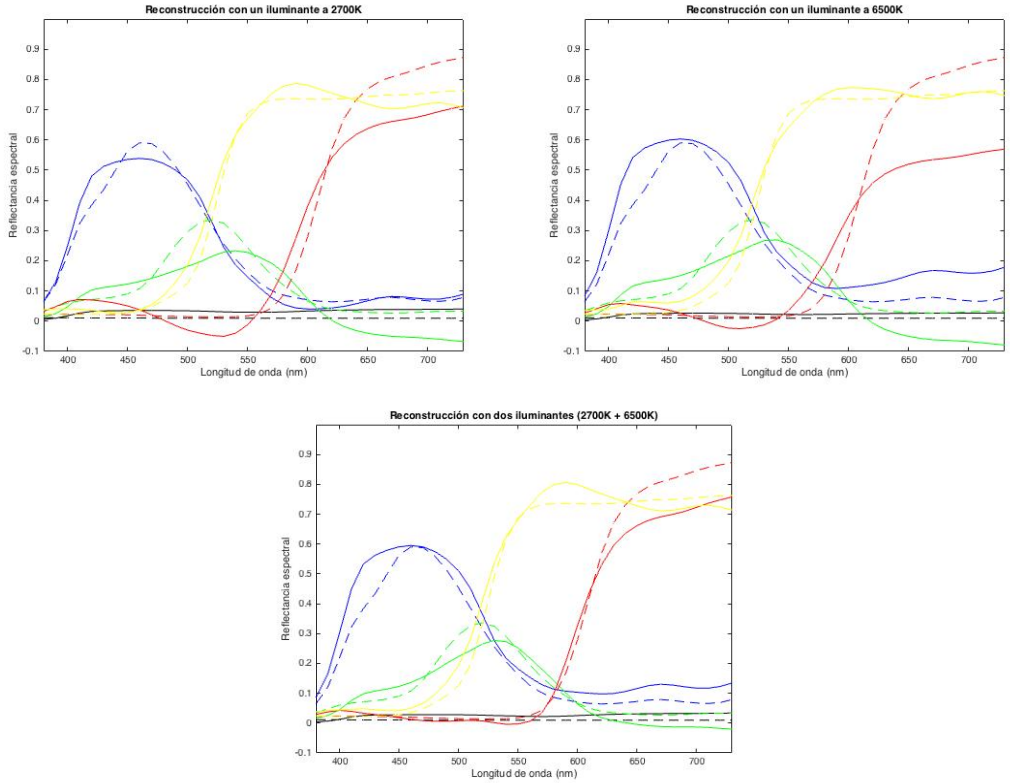


Figura 2: Curvas espectrales originales (líneas discontinuas) y reconstruidos (líneas continuas) a 2700ºK, 6500ºK y con dos iluminantes de los parches de control.

En la Fig. 3 se resumen los resultados de aplicar los diferentes índices indicados en el método a los datos. Como puede observarse en la Fig. 3a, el mayor error RMS corresponde con la reconstrucción de la curva espectral del parche rojo a utilizando exclusivamente los datos de 6500K. Parece lógico por la misma

razón que hemos indicado anteriormente: la falta de componentes de longitud de onda próximas al rojo del iluminante de 6500K. También se observa que el mayor valor de RMS se produce para los datos en el estímulo luminoso azul para los datos de 6500K, la razón puede residir en el pico característico de la luz LED próxima a los 450 nm, el cual genera una oscilación brusca de los componentes de longitud de onda. En general, puede observarse que el valor RMS obtenido a partir de datos combinados 2700K+6500K es menor que el obtenido a partir de datos individuales, excepto en el caso del estímulo luminoso azul, dónde parece que los datos combinados no proporcionan un RMS menor que utilizando los datos individuales, quizás también debido al pico de la luz LED de 6500K mencionado anteriormente.

Con respecto al coeficiente de correlación, CC, se observa en la Fig. 3b que, en general, la correlación lineal positiva aumenta con lo datos combinados, excepto par el caso de la reproducción del estímulo neutro. Ya indicamos anteriormente que el CC será poco fiable cuando los datos de reflectancia espectral se concentren en valores próximos, como ocurre en los neutros. Quizás sea ésta la misma razón por la que se produzca un salto tan sorprendente en entre los valores de CC entre los valores estimados a partir de los datos individuales y a partir de los datos conjuntos.

Respecto a los resultados de la diferencia de color *CIEDE2000*, mostrados en la Fig. 3c, cabe destacar que, de nuevo, los mejores resultados corresponden con los datos combinados, excepto en el caso de la reproducción del estímulo neutro, en el que la estimación obtenida a partir de los datos combinados resulta ligeramente superior a la obtenida con los datos de 6500K. Hemos de resaltar, que los valores CIEDE2000 obtenidos en la reconstrucción se aproximan a los valores de aceptabilidad definidos por la norma ISO 12647-2 [16] que estable un límite $\Delta E_{00} = 3{,}5$ para los colores primarios cromáticos en masa de la cuatricromía en la impresión offset comercial y un límite $\Delta E_{00} = 5$ para el negro. Según este criterio la reproducción obtenida del estímulo neutro no sería aceptable desde un punto de vista comercial.

Por último, en la Fig. 3d puede observarse los resultados con respecto al índice de metamerismo *PI*, que se reduce drásticamente en todos los caos (en el caso de estímulo amarillo es casi nulo, por ello a penas se aprecia en la Fig. 3d, excepto en el caso del rojo, cuyo valor tan alto no podemos explicar.

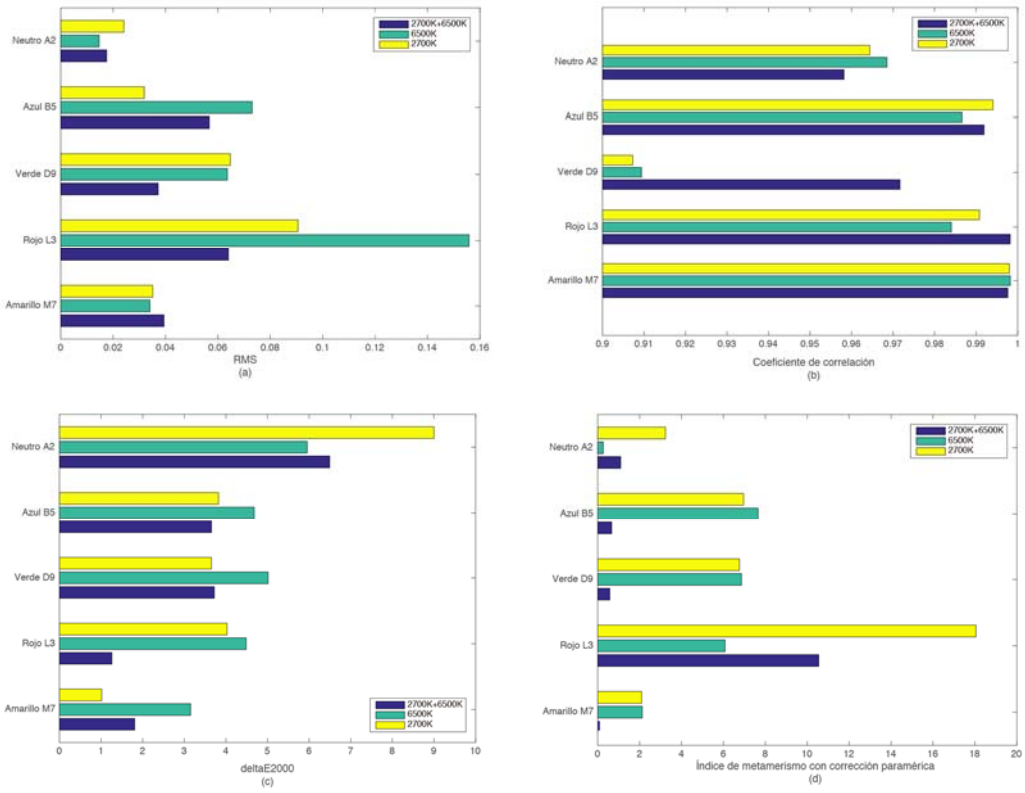


Figura 3: Diferencias de color entre los parches de control originales y los reconstruidos según distintas métricas.

En la siguiente tabla 1 se resumen los promedios de los resultados obtenidos para los seis estímulos de control. En todos los casos, como puede observarse, los indicadores mejoran en promedio para las

estimaciones efectuadas con datos combinados. Ello puede ser explicado porque si efectuamos un análisis de componentes principales de los datos espectrales capturados de la carta de color de entrenamiento, correspondiente en nuestro caso a la carta ColorChecker SG, determinaremos que aproximadamente el 99% de la variabilidad puede ser explicado por las seis componentes principales [17], lo cual apunta a la posibilidad de recuperar gran parte de la información espectral a partir de conjuntos de seis valores que puedan estar linealmente relacionados con las mencionadas componentes principales. Teniendo en cuenta que una condición para la correcta reconstrucción es que el estímulo luminoso que se pretenda reconstruir sea de la misma naturaleza que los estímulos de color de la carta de aprendizaje. Es decir, si queremos reconstruir estímulos generados con acuarela deberemos utilizar la carta de aprendizaje con los pigmentes de la acuarela o si se tratara de estímulos generados mediante impresión offset, deberíamos utilizar cartas de aprendizaje impresas con offset.

Métrica	Media 2700ºK	Desv. Est. 2700ºK	Media 6500ºK	Desv. Est. 6500ºK	Media 2 iluminantes	Desv. Est. 2 iluminantes
RMS	0.0493	0.0277	0.0683	0.0542	0.0473	0.0182
CC	0.9709	0.0379	0.9694	0.0352	0.9835	0.0178
ΔE2000	4.30	2.89	4.65	1.01	3.38	2.05
PI	2.93	4.45	3.37	2.73	2.96	3.55

Tabla 1: Tabla resumen del promedio de los resultados obtenidos

5. Conclusiones

Es posible reconstruir la curva espectral de un conjunto de estímulos luminosos mediante una cámara tricromática utilizando iluminantes con diferente composición espectral, con resultados similares a los obtenidos, utilizando filtros de banda ancha, por otros autores [17]. Además, usando dos iluminantes en lugar de uno solo se reduce de manera muy significativa el índice de metamerismo.

Este trabajo se corresponde con una primera aproximación que deberá ser mejorada en futuros trabajos, en dónde se deberá determinar la composición espectral óptima de los iluminantes que permita minimizar las métricas utilizadas, mejorar y definir con mayor rigor el proceso de captura y procesado por medio de la cámara tricromátrica y definir un método de evaluación más estricta basada en una selección del grupo de control más variada, que garantice el buen funcionamiento del sistema en la mayoría de las situaciones, implementando propuestas de validación como '*leave-one-out*' o del tipo '*N-fold*' en donde *N* podría ser variable.

Otro posible trabajo futuro podría consistir en realizar la reconstrucción en base a otros métodos de reconstrucción como el de componentes independientes.

El trabajo efectuado podría servir para reconstruir la curva espectral de diferentes originales pixel a pixel mediante escáneres equipados con doble lámpara.

Bibliografía

[1] J. Pujol, J. Herrera-Ramirez and M. Vilaseca, "Portable multispectral imaging system based on light emitting diodes for spectral recovery from 370 to 1630 nm", Applied Optics vol. 53 pp. 3131-3141 (2014).

[2] F. Zaraga, G. Langfelder and A. F. Longoni, "Implementation of a multispectral color imaging device without color filter array, Digital Photography", VII, Proc. of SPIE pp. 7876-7877 (2011).

[3] F. H. Imai, R. S. Berns and D. Tzeng, "A comparative analysis of spectral reflectance estimated in various spaces using a trichromatic camera system", J. Imag. Sci. and Tech., vol 44, pp. 280-287 (2000).

[4] C. Plata and E. M. Valero, "Supervised training sample selection for the estimation of spectral reflectance using a RGB camera", Conference on Color in Graphics, Imaging and Vision, CGIV 2008, pp. 519-522 (2008).

[5] J. Farrell, D. Sherman and B. W. Wandell, "How to turn your scanner into a colorimeter", in Proc. IS&T's 10th Int. Congr. Advances in Non-Impact Printing Technologies, New Orleans, LA, Oct. 30-Nov. 4, 1994, pp. 579-581 (1994).

[6] A. Hunter, J. DiCarlo and S. Pollard, "Six color scanning", Tech. Papers of the 4th Europ. Conf. on Colour in Graphics, Imaging and Vision, pp. 570-574 (2008).

[7] G. Sharma, H. J. Trussell and M. J. Vrhel, “Optimal nonnegative color scanning filters”, IEEE Trans. Image Process. vol. 7, no. 1, pp. 129-133 (1998).
[8] M. de Lasarte, J. Pujol and M. Arjona, “Thorough characterization and analysis of a multispectral imaging system developed for colour measurement”, Universitat Politécnica de Catalunya, Tesis, URL: http://www.tdx.cbuc.es/handle/10803/6752 (2009).
[9] *IEC* 61966-2-1, “Colour Measurement and Management in multimedia systems and equipment, Part 2-1: Colour Management Default RGB Colour Space- sRGB”, Internatitonal Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland (1999).
[10] Ng. DuYong, J. P. Allebach , “A Subspace Matching Color Filter Design Methodology for a Multispectral Imaging System”, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 15, Number 9 (2006).
[11] ISO/CIE 11664-6: 2014, “Colorimetry—Part 6: CIEDE2000 colour-difference formula”. International Standard Organization (2014).

[12] MR. Luo, G. Cui, and B. Rigg, “The development of the CIE 2000 colour difference formula”, Color Res. Appl. vol 26, 340–350 (2001).
[13] H. S. Fairman, “Parameric correction using parameric decomposition”, Color Res. Appl., Vol. 12, Number 5, 261-265 (1987).
[14] CIE No. 15:2004, “Colorimetry. Commision Internationale de l’Éclairage”, Vienna, Austria (2004)
[15] F. H. Imai, R. S. Berns, “Spectral estimation of artist oil paints using multi-filter trichromatic imaging”, International Society for Optics & Photonics, SPIE 4421, 9th Congress of the International Colour Association, Jun. 2002.
[16] ISO 12647-2:2013, “Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints - Part 2: Offset lithographic processes”, International Standard Organization (2013).
[17] F.H. Imai, R.S. Berns, D.Y. Tzeng, “A comparative analysis of spectral reflectance estimated in various spaces using a trichromatic camera system”, Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 44, Number 4, pp 280-287 (2000).

Aplicación de texturas hiperespectrales a objetos 3D en escenas de Realidad Virtual

Francisco Díaz-Barrancas[1], Halina Cwierz[1], P. J. Pardo[1*], A. L. Pérez[2] y M. I. Suero[2]

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

[2]*Departamento de Física, Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias, Avda. de Elvas s/n, Badajoz E06071, España*

http://grupoorion.unex.es

1. Introducción

Trabajos previos han demostrado la gran mejoría de los sistemas de visualización basados en Head Mounted Display (HMD) y realidad virtual. En concreto, se realizó un estudio de valoración subjetiva de escenas de realidad virtual en las que era posible visualizar réplicas de obras de arte. En dicho estudio se analizaban varios aspectos relacionados con la calidad visual de la imagen como la geometría, la iluminación, el sombreado y el color. Igualmente se realizó una valoración global de la sensación de realismo percibida por los observadores al comparar la escena virtual con una escena real. Los resultados indicaron que el nivel de realismo alcanzado actualmente es considerable y que uno de los factores que más influían en esa sensación de realismo es el color [1].

Con estos antecedentes nos planteamos mejorar esta sensación de realismo mejorando la reproducción de color en el entorno de realidad virtual. Para ello hemos introducido un sistema gestor de color dentro del software de realidad virtual. El punto inicial de partida ha sido la caracterización cromática de dos dispositivos de visualización HMD comerciales (*Oculus Rift CV1 y HTC Vive*) y la definición de los perfiles colorimétrico asociados a dichos dispositivos [2]. Posteriormente se ha introducido una librería de gestión de color externa (*LittleCMS*) en el software de gestión de color. Con estos dos elementos ya es posible realizar una correcta gestión de color en imágenes digitales siempre y cuando no cambiemos el color de la fuente luminosa empleada para iluminar la escena de realidad virtual. Como un paso de mejora posterior se han implementado en el software de realidad virtual funciones que permiten el cálculo de valores triestímulos para cualquier fuente luminosa caracterizada mediante su SPD y su posterior transformación a los valores RGB nativos del software VR mediante los perfiles ICC y el Sistema gestor de color.

En cuanto a los objetos representados en la escena de realidad virtual, se ha optado por la inclusión de objetos 3D capturados del mundo real mediante un sistema complejo basado en una cámara hiperespectral que realiza múltiples capturas de imágenes hiperespectrales de un mismo objeto que rota sobre una base motorizada y posteriormente, mediante software fotogramétrico, se determina la nube de puntos que constituye el objeto junto con su textura hiperespectral. Esta técnica se presenta en otra comunicación en este mismo congreso.

Con todo esto se han mejorado las capacidades de visualización del color de objetos virtuales en dispositivos de realidad virtual.

2. Metodología

En este trabajo se utilizaron varios equipos de hardware y varios elementos de software. A continuación, se describen detalladamente junto los pasos realizados en el trabajo para conseguir el resultado final.

Hardware

El primer paso de este trabajo de investigación ha sido el desarrollo de un sistema de captura de objetos reales en 3D basado en imágenes tomadas por una cámara hiperespectral de tipo *one-shot* marca *Cubert y modelo UHD* 285 (Cubert GmbH, Alemania) que proporciona con cada toma un cubo hiperespectral de 1000 x 1000 píxeles y 125 canales espectrales definidos entre 450 y 950 nm con una resolución espectral de 4 nm.

El escenario utilizado para la captura de imágenes con la cámara hiperespectral es el que podemos apreciar en la Fig. 1.

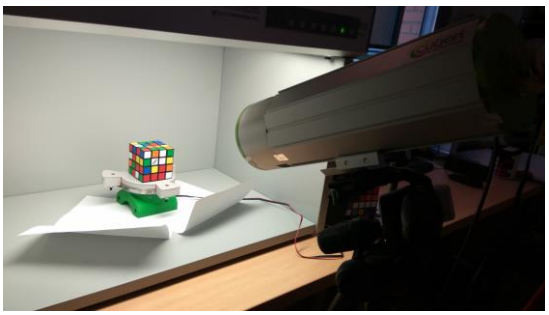


Figura 1: Escenario utilizado para la reconstrucción del objeto 3D.

Para una correcta captura del objeto, se ha desarrollado y automatizado una plataforma motorizada. La plataforma permite girar los objetos y realizar las capturas automáticamente desde diferentes ángulos de visión. Esta plataforma giratoria de fabricación propia está conectada a un microcontrolador *arduino* que la controla mediante un software propio que hemos desarrollado y un motor paso a paso genérico de tipo NEMA 17.

Software

Hemos desarrollado un software que permite simular mediante una escena en *Unity Game Engine* (Unity Technologies, USA), el entorno de desarrollo de nuestra propuesta. En la escena ubicaremos una simulación de la cabina *LED Color Viewing Light* (Just Normlicht GmbH, Alemania) con diferentes focos de luz a los que le asignaremos el resultado del cálculo que obtengamos de la curva espectral de cada fuente de luz, Fig. 2.

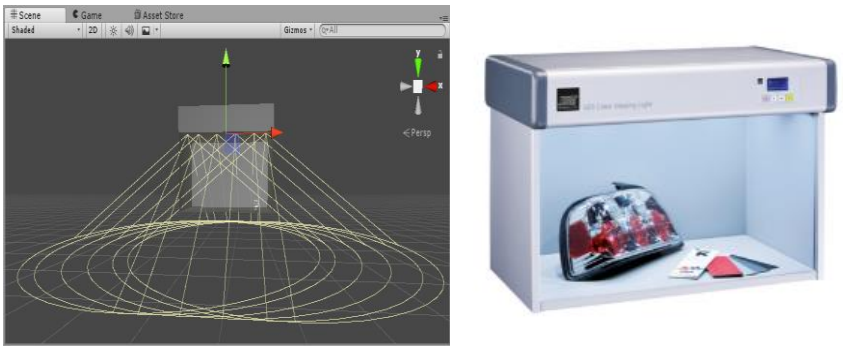


Figura 2: Simulación en Unity de la cabina y focos de luz controlados

Junto a esta escena, se ha desarrollado un script que permite simular el cambio de iluminación aplicado directamente a la textura, ya que tenemos los valores de reflectancias del objeto. Cabe destacar que el cálculo de los valores nuevos del color obtenidos a partir de las reflectancias y las fuentes luminosas es bastante costoso, por lo que requiere bastante tiempo.

3. Resultados

El objetivo principal de este trabajo consiste en la mejora de la representación cromática de objetos virtuales visualizados en una plataforma de realidad virtual. Para comprobar si esta mejora ha sido implementada o no, hemos introducido un Color Checker virtual en la plataforma de realidad virtual. Este Color Checker virtual se define con una textura hiperespectral capturada del Color Checker real.

También hemos introducido 4 fuentes de luz en el software de realidad virtual. Estas fuentes de luz se definen por su distribución espectral de potencia. Utilizando cálculos espectrales en el dominio del espacio de color triestímulo CIE 1931, hemos calculado el valor XYZ de cada fuente de luz. A partir de este valor XYZ, lo hemos transformado al espacio de color RGB nativo digital mediante un sistema de gestión del color y luego, hemos aplicado este valor RGB a la fuente de luz virtual. En la Fig. 3, podemos ver el aspecto del software final.



Figure 3: Color Checker simulado en Unity.

La Tabla 1 muestra los resultados numéricos en términos de las coordenadas de color XYZ (CIE 1931) y RGB nativo digital esperadas de 24 parches del Color Checker para las diferentes fuentes de luz y los colores medidos para los mismos parches de color, así como la diferencia de color media calculada utilizando la fórmula de diferencia de color CIEDE00 en el espacio de color del laboratorio CIE.

Los resultados muestran diferencias de color mínimas. Estas diferencias son mucho más pequeñas que las diferencias de color obtenidas utilizando sólo un sistema de gestión del color.

Color Management	Light Source	$\overline{\Delta RGB}$			$\overline{\Delta XYZ}$			$\overline{\Delta E00}$
		R	G	B	X	Y	Z	
ICC Profile Color	TL84	2.7	2.4	1.8	0.6	0.5	0.3	2.4
	D50 Simulator	1.1	1.0	0.6	0.3	0.1	0.4	0.9
	A Simulator	1.6	1.5	4.0	0.4	0.1	0.4	3.5
	D50 Illuminant	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.5
Spectral Calculations	TL84	1.3	0.7	1.5	0.3	0.2	0.2	1.4
	D50 Simulator	0.7	0.4	0.6	0.2	0.1	0.2	0.6
	A Simulator	0.7	1.3	3.5	0.2	0.1	0.3	2.3
	D50 Illuminant	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5

Tabla 1: Diferencias numéricas entre la gestión de color con el perfil ICC y el cálculo espectral.

Finalmente, en las Fig. 5, 6 y 7 podemos ver el resultado de la aplicación de las texturas hiperespectrales a un objeto 3D con las distintas fuentes luminosas. En este caso el objeto representado es el clásico Color Checker.



Figura 4: Aspecto inicial del Color Checker renderizado con iluminante D50.



Figura 5: Color Checker con cambio de fuente luminosa TL840 (izqda) y con cálculo de textura hiperespectral (drcha.)



Figura 6: Color Checker con cambio de fuente luminosa simulador D50 (izqda) y con cálculo de textura hiperespectral (drcha.)

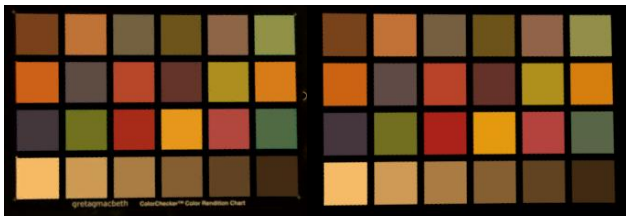


Figura 7: Color Checker con cambio de fuente luminosa simulador A (izqda) y con cálculo de textura hiperespectral (drcha.)

4. Conclusiones

A la vista de los resultados podemos decir que es posible obtener una mejora en la reproducción del color en escenas de realidad virtual mediante la reconstrucción de los objetos utilizando imágenes hiperespectrales. Podemos enfatizar que los valores obtenidos en las mediciones de las diferencias de color son mejores que usar un sistema de gestión del color con texturas RGB. Esto nos da un gran avance dentro del paradigma de la realidad virtual. Al mismo tiempo, abre un amplio abanico de posibilidades para futuros trabajos.

Cabe destacar que la mejora en la representación en color de los objetos 3D importados a dispositivos de realidad virtual no ralentiza la ejecución de la escena virtual. Es en el proceso previo, de creación del objeto 3D y de renderizado con fuentes luminosas donde se necesita un gran tiempo de procesamiento, el cual esperamos mejorar mediante nuevos estudios que aceleren la transformación colorimétrica, aplicando técnicas de paralelización conocidas en el mundo de la computación.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado gracias a las ayudas IB16004 y GR18131 de la Junta de Extremadura y ha sido parcialmente financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Bibliografía

[1] P. Pardo, M. Suero and A. Pérez., “Correlation between perception of color, shadows, and surface textures and the realism of a scene in virtual reality.,” JOSA A, vol. 35, pp. B130-B135, 2018.

[2] F. Díaz-Barrancas, P. J. Pardo, M. I. Suero and A. L. Perez, “Is it possible to apply color management technics in Virtual Reality devices?,” in XIV Conferenza del Colore, Firenze, 2018.

Estudio espectroscópico de glóbulos rojos mediante microscopía confocal en pacientes con talasemia

Laura Rey-Barroso[1*], Mónica Roldán[2], Francisco J. Burgos-Fernández[1], Susanna Gassiot[3], Anna Ruiz-Llobet[3], Ignacio Isola[3], Jaume Pujol[1] y Meritxell Vilaseca[1]

[1]*Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas. Rambla de Sant Nebridi 10, Terrassa*

[2]*Unitat de Microscòpia Confocal. Servei d'Anatomia Patològica. Institut Pediàtric de Malalties Rares. Hospital Sant Joan de Déu. Paseo de San Juan de Dios 2, Esplugues de Llobregat.*

[3]*Laboratori d'hematologia. Servei de diagnòstic de laboratori, Institut de Recerca Hospital Sant Joan de Déu. Paseo de San Juan de Dios 2, Esplugues de Llobregat.*

[4]*Servei d'hematologia pediàtrica. Hospital Sant Joan de Déu. Paseo de San Juan de Dios 2, Esplugues de Llobregat.*

https://www.cd6.upc.edu

1. Introducción

Las alteraciones de los glóbulos rojos pueden provocar enfermedades sanguíneas muy severas si no se diagnostican a tiempo, siendo especialmente sensible y crítico el diagnóstico en población infantil. Los glóbulos rojos (GRs) son células bicóncavas con un volumen medio de 90 a 95 μm^3 que contienen hemoglobina, una proteína que se encarga del transporte del oxígeno por el organismo. Dicha proteína tiene una estructura cuaternaria formada mayoritariamente por dos tipos de cadenas polipeptídicas (globinas): 2 alfa y 2 beta. Éstas se unen al oxígeno gracias al grupo hemo presente en cada una de ellas. Cambios en la producción de dichas cadenas ocasionan defectos en los GRs que pueden tener unas manifestaciones muy variables en los individuos: asintomáticas, leves alteraciones analíticas o anemias importantes con elevada morbi-mortalidad y mala calidad de vida. En las formas graves, el trasplante de células madre de la médula ósea es la única opción curativa [1].

La síntesis de la hemoglobina puede alterarse de forma cuantitativa, como en las talasemias, o cualitativa, como en las hemoglobinopatías estructurales [2]. En la talasemia, la producción de uno de los tipos de cadena de globina se ve modificada, ocasionando el déficit o la ausencia total de una de ellas. Por ejemplo, en la alfa-talasemia existe un déficit cuantitativo de las cadenas de alfa-globina con un desequilibrio que da lugar a un exceso de cadenas beta, que termina con la agregación de éstas y la alteración del glóbulo rojo. El espectro de presentación de las talasemias va desde formas leves que sólo presentan una disminución del tamaño de los GRs (microcitosis), a formas graves con destrucción prematura de los mismos, que ocasiona una anemia intensa, requiriéndose transfusiones de GRs periódicas de por vida o incluso trasplante de médula ósea [3].

La morfología de sangre bajo microscopía óptica convencional es fundamental en el diagnóstico de la talasemia, así como un hemograma o incluso complejos estudios genéticos. Aun así, a veces esta no se puede diagnosticar de forma directa [4]. Por ello, diversos estudios han analizado la emisión y absorción de los GRs de pacientes con talasemia para intentar establecer diferencias espectrales en los rangos ultravioleta (UV), visible (VIS) e infrarrojo (IR). Se han utilizado espectrómetros [5,6], espectrofluorómetros [7,8] y microscopios confocales [9], iluminando las muestras en el azul cercano o UV y recogiendo la emisión entre 200 nm y 700 nm, mediante el uso de anticoagulantes, soluciones salinas y/o purificando las muestras. La ventaja del microscopio confocal es que excita y recoge la señal de cada punto de la muestra de tal manera que realiza imagen de la emisión y de la reflectancia de la misma. También es posible focalizar el plano de excitación a una profundidad concreta, obteniendo imágenes tridimensionales. Además, se pueden utilizar diferentes fluorocromos para marcar diferentes estructuras, los cuales se pueden visualizar gracias a que presentan espectros de excitación y emisión característicos.

* *e-mail*: laura.rey.barroso@upc.edu

Ante la necesidad actual de un diagnóstico rápido y eficaz de las enfermedades descritas, el objetivo de este trabajo consiste en estudiar las posibilidades del microscopio confocal como herramienta de diagnóstico. Para ello, se han evaluado muestras de sangre de pacientes con alfa-talasemias de diferentes grados; de un paciente con anemia ferropénica, una enfermedad en la que está alterado el transporte de oxígeno por la mala absorción o pérdida de hierro [10] y de un paciente sano para detectar posibles diferencias a nivel espectral.

2. Materiales y métodos

Los experimentos se realizaron con muestras de sangre en fresco recién extraídas de cinco pacientes pediátricos de 1 a 17 años de edad: un paciente control, TC, con hemoglobina (Hb) 14,1 g/dL y volumen corpuscular medio (VCM) 87 fl; un paciente con alfa-talasemia de tipo grave, T1, con Hb 7,8 g/dL y VCM 68 fl; dos pacientes con alfa-talasemias de tipo leve-moderado, T2, con Hb 10.4 g/dL y VCM 74 fl, y T3, con Hb 10,8 g/dL y VCM 63 fl; y un paciente con anemia de tipo ferropénica, TA, con Hb 9,9 g/dL y VCM 81 fl. Se depositaron aproximadamente 500 µL de la muestra TC en una placa estándar para microscopía (Ibidi, Munich, Germany) y la misma cantidad de las muestras T1, T2, T3 y TA en placas adherentes (Nirco S.L., Barcelona, España). Dichos experimentos se llevaron a cabo en el Hospital Sant Joan de Déu (Barcelona, España). Todos los pacientes proporcionaron su consentimiento informado antes de cualquier prueba y previamente se obtuvo la aprobación del estudio por parte del Comité de Ética de la Investigación con medicamentos (CEIm) de la Fundació Sant Joan de Déu.

Las muestras se analizaron mediante un microscopio confocal con superresolución Leica TCS SP8 STED 3x (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany) equipado con una unidad de detección espectral. Las placas se visualizaron dentro la cabina implementada en el microscopio con control de temperatura y CO_2 prestablecidos para células vivas. Se utilizó un objetivo de aceite Plan Apo 63x/1.4 y se captaron imágenes de 82 µm x 82 µm para obtener suficiente señal de autofluorescencia de las células y al mismo tiempo conseguir un campo de visión lo suficientemente grande para analizar el mayor número ellas. Para el estudio espectral se ha utilizado el láser de diodo de 405 nm y se ha recogido la emisión de 425 nm a 780 nm (paso espectral = 7nm), utilizando detectores híbridos de gran sensibilidad. Para obtener los espectros de emisión se realizaron series de imágenes xyλ que mostraron la intensidad de fluorescencia para cada intervalo de emisión predeterminado, obteniendo espectros reales de emisión de las muestras. La captación se realizó a una velocidad de 1000 Hz en bidireccional para evitar artefactos de movimiento celular.

3. Resultados

La Fig. 1 muestra la autofluorescencia de las muestras analizadas mediante su espectro de emisión, considerando en todos los casos varios GRs como regiones de interés (ROIs).

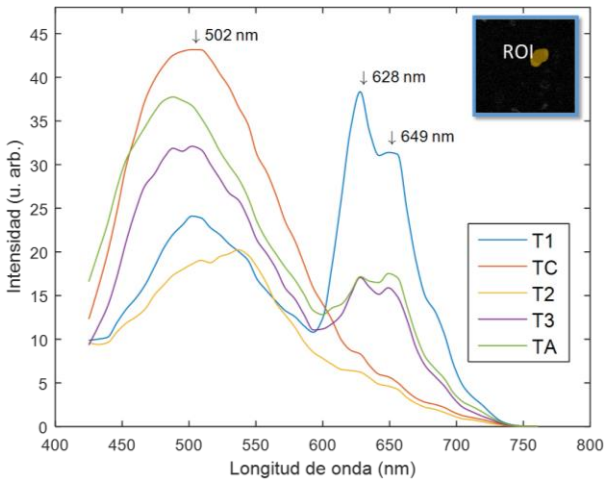


Figura 1: Curvas emisión media de autofluorescencia sobre las ROIs de GRs. TC: paciente control; T1: paciente con alfa-talasemia de tipo grave; T2 y T3: pacientes con alfa-talasemias de tipo moderado; TA: paciente con anemia de tipo ferropénica.

En el espectro medio de los GRs se observó un pico de emisión común alrededor de 502 nm, aunque para la muestra T2 se desplazó hacia 550 nm, aproximadamente. Además, las muestras T1, T3 y TA mostraron una elevada emisión entorno a los 628 nm y a 649 nm. La intensidad de estos tres picos fue diferente para las cinco muestras. Por otro lado, se observó que las muestras en las placas con recubrimiento (Nirco) presentaban menos movimiento de las células durante la captación que las muestras en las placas sin recubrimiento, lo que hace a las primeras más adecuadas para la medida de muestras en fresco.

Según AlSalhi et al. [7], la emisión a 628 nm se debe a la molécula de porfirina en el grupo hemo, la cual es responsable del color rojo de los GRs. La porfirina, es un tipo de pigmento biológico nitrogenado soluble en agua, entre cuyos derivados se incluyen las hemoproteínas (porfirinas combinadas con metales y proteínas). Esto parece indicar que esta molécula podría encontrarse en mayor cantidad en los pacientes afectados por alfa-talasemia y anemia ferropénica [11]. Algunos autores describen como la cantidad de porfitina eritrocítica libre es mayor en los pacientes con anemia ferropénica [12]. Con el propósito de cuantificar este fenómeno, se calculó la razón entre la intensidad de la emisión a 502 nm y la encontrada a 628 nm y 649 nm; esta aproximación ha permitido clasificar ciertas alteraciones sanguíneas en estudios similares [7]. La Tabla 1 muestra que a mayor gravedad de la alfa-talasemia, menores son los índices calculados, siendo mayor para el paciente control (TC) y menor para el paciente con alfa-talasemia de tipo grave (T1). Las alfa-talasemias moderadas (T2 y T3) presentan valores intermedios y similares a los del paciente con anemia ferropénica (TA). La Fig. 2 muestra de forma gráfica los resultados de la Tabla 1; se aprecia como las diferentes afectaciones quedan diferenciadas para las dos razones calculadas.

Razón	TC	T1	T2	T3	TA
I_{502}/I_{628}	5,19	0,63	2,97	1,88	2,14
I_{502}/I_{649}	7,57	0,77	4,01	2,02	2,10

Tabla 1: Razones de los picos principales de la emisión (I_λ: intensidad a diferentes longitudes de onda).

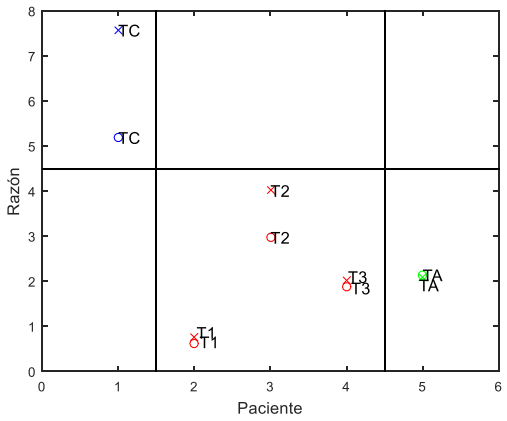


Figura 2: Representación gráfica de las razones de los picos principales de la emisión. Los puntos sólidos representan los valores de I_{502}/I_{628}, mientras que los puntos en forma de cruz corresponden a I_{502}/I_{649}.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha utilizado un microscopio confocal de barrido espectral para la evaluación de muestras sanguíneas afectadas por alfa-talasemias y anemia ferropénica, las cuales son difíciles de diagnosticar mediante las técnicas actuales. Se han detectado dos picos de emisión de fluorescencia a 628 nm y 649 nm que no aparecieron en el paciente control cuando se excita a 405 nm. A partir de la intensidad a esas longitudes de onda y la encontrada en todas las muestras a 502 nm se han calculado dos índices que, de forma preliminar, permiten discriminar entre las distintas patologías y grado de severidad, especialmente en las alfa-talasemias. El trabajo futuro consistirá en ampliar el conjunto de muestras tanto de alfa-talasemias como de anemias ferropénicas para corroborar la efectividad de las razones descritas. Esto podría permitir la racionalización del uso de las técnicas de laboratorio, pudiendo establecer un primer cribado que dirigiera a la hora de solicitar posteriores estudios genéticos de confirmación, los cuales son costosos y técnicamente complejos. En el futuro, la importancia del diagnóstico mediante el uso de tecnologías de

vanguardia y el análisis de imágenes podrá ofrecer al hematólogo un nuevo horizonte cuando se trata de mejorar la estrategia de diagnóstico y orientar al genetista en la búsqueda de genes implicados.

Agradecimientos: Al Ministerio de Economía y Empresa por la financiación del proyecto DPI2017-89414-R.

Bibliografía

[1] D. Provan, T. Baglin, I. Dokal, J. de Vos, *Manual de Hematología Clínica* (Oxford University Press, Oxford, 2015).

[2] L. B. Jorde, *Genética Médica* (Elsevier España, Madrid, 2005).

[3] L. Carbero, D. Saldívar, E. Cabrillo, *Obstetricia y Medicina Materno-Fetal* (Médica Panamericana, Madrid, 2007).

[4] S. de Oliveira, C. Saldanha, "An overview about erythrocyte membrane," Clin. Hemorheol. Microcirc.,**44**, p. 63-74 (2010).
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20134094

[5] A.R. Akuwudike, P.C. Chikezie, F. Chilaka, "Absorption Spectra of Normal Adult and Sickle Cell Hemoglobin Treated with Hydrogen Peroxide at Two pH Values," Iranian J. Blood & Cancer, **5**, p. 129-135 (2011).
https://www.researchgate.net/publication/236006932

[6] S. Gunasekaran, R.K. Natarajan, V. Renganayaki, "UV Visible Spectrophotometric Approach and Absorption Model for the Discrimination of Diseased Blood," Asian J. Chem., **20**, p. 48-54 (2008).
https://www.researchgate.net/publication/287775760

[7] M.S. AlSalhi, F.H. AlGahtani, S. Devanesan, V.M. Trinka, K. Jeyaprakash, A.H. AlSaeed, V. Masilamani, "Spectral detection of thalassemia: a preliminary study," J. Biom. Sci., **21**, p. 129-135 (2014).
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24679334

[8] D. Sandhanasamy, M.S. AlSalhi, R. Mani, P. Kantharaj, P. Saradh, A. Al-Saeed, R.P. Siddanna J. Karuppaiah, M. Vadivel, "Fluorescence spectral classification of iron deficiency anemia and thalassemia," J. Biomed. Optics, **19**, p. 129-135 (2014).
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24549488

[9] K. Khungwanmaythawee, W. Sornjai, A. Paemanee, J. Jaratsittisin, S. Fucharoen, S. Svasti, P.Lithanatudom, S. Roytrakul, D.R. Smith, "Mitochondrial Changes in β0-Thalassemia/Hb E Disease," PLoS One, **11**, e0153831 (2016).
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4836671/

[10] J. F. San Miguel, *Cuestiones en Hematología* (Elsevier España, Madrid, 2002).

[11] T. Meloni, D. Gallisai, M. Demontis, S. Erre, "Free erythrocyte porphyrin (FEP) in the diagnosis of beta-thalassaemia trait and iron deficiency anaemia," Haematologica, **67**, p. 341-348 (1982).
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6814991

[12] J.A. Stockman, L.S. Weiner, G.E. Simon, M.J. Stuart, F.A. Oski, "The measurement of free erythrocyte porphyrin (FEP) as a simple means of distinguishing iron deficiency from beta-thalassemia trait in subjects with microcytosis," J. Lab Clin. Med., **85**, p. 113-119 (1975).
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1141725

Control de calidad del aceite de fritura mediante smartphones colorimétricamente calibrados

Paz Sebastián Luna[1], María Luisa Cervera[2], Ángel Morales Rubio[*2] y María José Luque Cobija[3]

[1]*Instituto de Ciencia Molecular, Universitat de València*

[2]*Departamento de Química Analítica, Universitat de València*

[3]*Departamento de Óptica y Optometría y Ciencias de la Visión, Universitat de València*

1. Introducción

Los aceites usados para fritura se ven sometidos a procesos que crean compuestos polares, nocivos para la salud [1]. La normativa española exige que en establecimientos de hostelería no se sobrepase un contenido total de compuestos polares (CP) superior a 25% [2]. Los inspectores de sanidad realizan rutinariamente este tipo de medidas utilizando dispositivos calibrados, como el Testo 270, pero estos dispositivos son caros para uso doméstico.

En la literatura, se ha referenciado cambios de color en el aceite, como consecuencia del deterioro de su calidad [3,4], aunque en muchos de los trabajos el interés se focaliza en el color y las propiedades de los alimentos fritos y no el color del aceite mismo [5-8]. Distintos trabajos han puesto de manifiesto que es posible utilizar una cámara fotográfica colorimétricamente caracterizada para evaluar el color de una muestra Estos dispositivos tienen dos problemas fundamentales: la influencia de los parámetros de captura [9], y el grado de metamerismo de la cámara [10]. En este trabajo, mostraremos si es posible utilizar la cámara fotográfica de un teléfono inteligente para determinar si el contenido de compuestos polares de una muestra de aceite de girasol, sometida a un proceso de calentamiento similar a una fritura, la hace todavía apta para el consumo.

2. Procedimiento experimental

El CP se determinó con un medidor Testo 270 (Instrumentos Testo S.A, Cambrils, España), precalibrado con su propio estándar. Para freír el aceite, se empleó una freidora Orbegozo Professional FDR 16 (Sonifer S.A., Murcia, España). Las fotografías se tomaron con un Samsung Galaxy S7 Edge (Samsung, Seul, Corea del Sur), con la muestra de aceite en un contenedor blanco, bajo una lámpara 6500 K LED de 6 Watt, controlando las condiciones de iluminación con un luxómetro T-10A Konica-Minolta. El espectro de transmitancia de las muestras se midió con un espectrofotómetro de fila de diodos HP8452A (Hewlett Packard, Alemania), utilizando cubetas de cuarzo de un 1 cm.

Las medidas se tomaban por la mañana, antes de cada ciclo de fritura, para controlar posibles cambios de CP durante la noche, calentando el aceite hasta 110 ºC y midiendo con el Testo 270, tras lo cual se retiraba una muestra de unos pocos mililitros para la medida de transmitancia y la captura de imagen. Tras la comprobación, se calentaba el aceite hasta los 180º, y se mantenía la temperatura durante 4 min. Este tiempo es comparable al tiempo de fritura de alimentos precongelados de uso común, como las patatas fritas o los muslitos de cangrejo. Finalmente, se dejaba enfriar el aceite y al alcanzar los 110 ºC se volvía a medir el CP. Al alcanzar los 70 ºC se retiraba una muestra para la medida de transmitancia y la fotografía. El ciclo se repetía hasta 3 veces por día.

Para caracterizar colorimétricamente la cámara del teléfono, se entrenó un modelo polinómico de grado 5 de los niveles digitales RGB [11], con un conjunto de muestras del Atlas Munsell de Color, (Glossy Finish Collection, Macbeth, Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland) de las hojas 1.25G a 10YR, y las muestras grises, iluminadas con la lámpara utilizada para fotografiar el aceite. Para intentar minimizar el efecto del iluminante, se ajustaron los coeficientes del modelo para minimizar la distancia Lab entre el color predicho por el modelo y el correspondiente a las muestras Munsell bajo unas condiciones de referencia (iluminante D65 con 200 cd/m^2), usando como blanco de referencia la muestra 9.5N. Los valores XYZ de

* *e-mail*: angel.morales@uv.es

las muestras Munsell se calcularon a partir de sus reflectancias, usando la librería de funciones COLORLAB [12].

3. Resultados

En la **Fig. 1** se representa el color de las muestras en el plano (a*,b*) del espacio CIELAB, evaluado a través de la medida de la transmitancia (**Fig 1a**) y con la cámara (**Fig 1b**). El color de los símbolos es puramente ilustrativo, y simula el color determinado a partir de los valores Lab calculados con las transmitancias, suponiendo adaptación a un blanco equienergético de 120 cd/m^2. El tamaño de los símbolos, proporcional a CP, permite ver un aumento del croma Lab, C*, con CP.

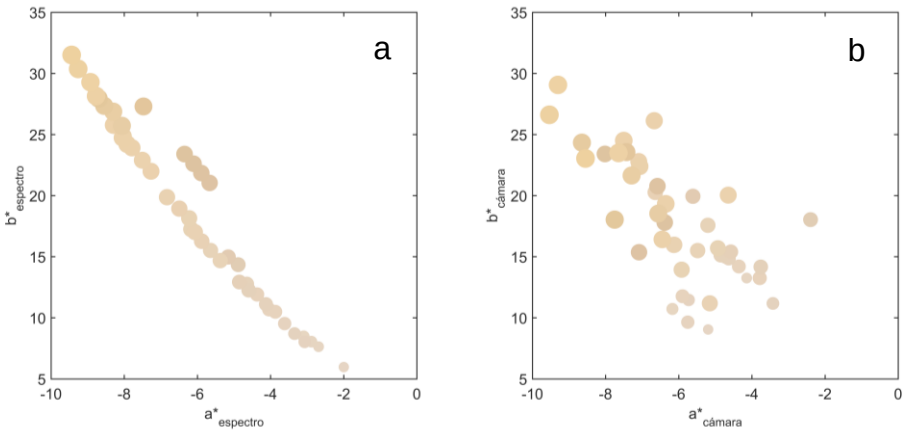


Figura 1: Muestras de aceite en el plano (a*,b*). a) datos del espectrofotómetro, b) datos de la cámara. El tamaño de las muestras es proporcional al CP.

La discrepancia entre ambos procedimientos de medida es ya aparente en la **Fig. 1**. El rango de tonos predicho por la cámara es más ancho, como puede verse con más detalle en la **Fig. 2b**, y en cuanto al croma, no sólo el rango predicho con la cámara es menor que con los espectros, sino que, a cromas altos (C*>20) los valores de C* predichos por la cámara son menores (**Fig 2a)**. Las diferencias de color entre ambos dispositivos, calculadas con la fórmula CIEDE2000, son, en promedio, de 3.3±1.4, aunque pueden alcanzar valores de hasta 7 unidades CIEDE2000 (**Fig. 3**). Por descriptores perceptuales, la única tendencia clara es en la luminosidad, con valores menores en promedio para la cámara.

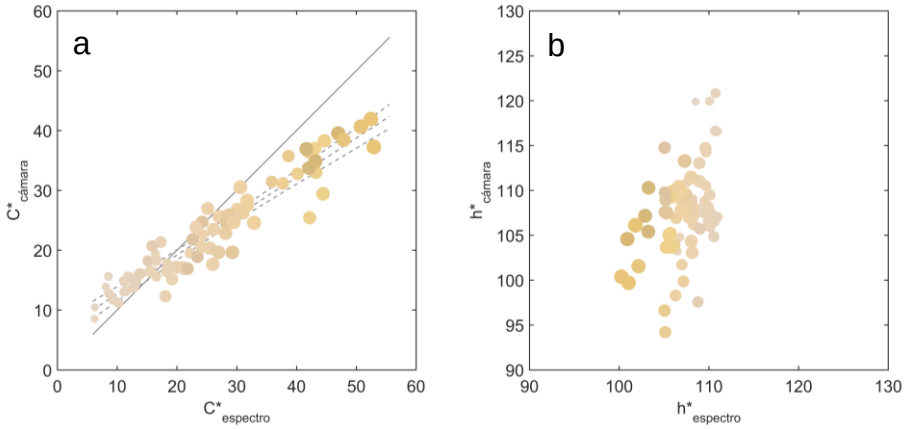


Figura 2: Valores de C* (a) y h* (b) predichos con la cámara frente a los valores calculados con los espectros de transmisión. Línea continua, recta x=y; líneas discontinuas, ajuste de la nube e intervalo de confianza del 95% del mismo.

Tanto con el color predicho a partir de las transmitancias como con la cámara, se encuentra una correlación significativa entre el contenido de polares de la muestra y los parámetros a*, b* y C*, aunque el valor de la correlación es mayor en los valores obtenidos con las transmitancias, como es de esperar vista la mayor dispersión de la nube de colores predichos con la cámara.

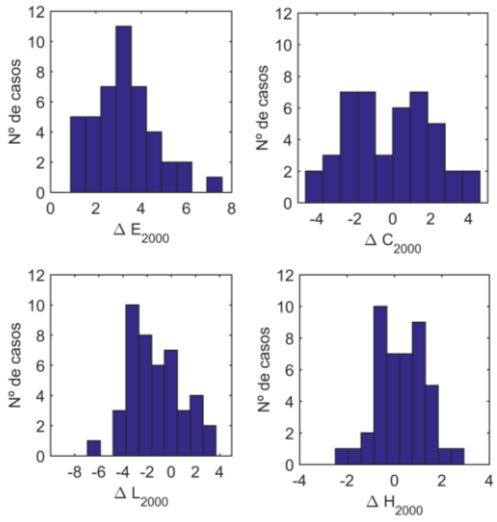


Figura 3: Diferencias de color CIEDE2000 entre los valores Lab obtenidos con la cámara y con el espectrofotómetro.

El diagrama de Passing-Bablock de la **Fig. 4** muestra que es posible predecir adecuadamente el CP a partir de los valores L*a*b* calculados con las transmitancias. El modelo utilizado es una regresión por procesos gaussianos con análisis de componentes principales y en el ajuste de los parámetros se empleó validación cruzada sobre k=5 carpetas, dado el pequeño número de muestras (44).

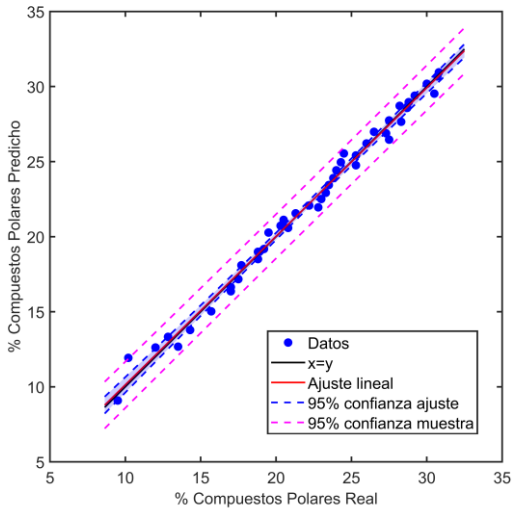


Figura 4: Porcentaje de CP predicho en función del valor real. Los resultados del modelo son concordantes con los experimentales (la recta x=y está contenida en el intervalo de confianza del ajuste).

Si predecimos con este modelo los valores de CP a partir de los valores L*a*b* obtenidos con la cámara, los errores son considerables, como muestra el diagrama Bland-Altman de la **Fig. 5a**. Discrepancias de ±2 serían aceptables, al ser este el margen habitual de los inspectores de Sanidad, pero en las muestras de mayor CP los errores alcanzan 6 unidades, con lo que existe un riesgo de seguir utilizando un aceite no apto para consumo. De hecho, aunque la tasa de muestras correctamente clasificadas como aptas para consumo (sensibilidad) es elevada (96.2%), la tasa de falsos negativos es del 33%. Ahora bien, basta con rebajar el valor de CP de corte en las lecturas de la cámara de 25 a 22.5 para que la tasa de falsos negativos baje hasta el 5.5%, con valores de sensibilidad todavía razonables (84.6%).

La **Fig. 5b** muestra que las prestaciones de la cámara para predecir el valor de CP pueden mejorarse ligeramente, si se ajusta un modelo específico para la misma. En este caso, el mejor modelo se obtiene por máquina de soporte vectorial (Support Vector Machine, SVM). La ligera disminución del error en las muestras de CP más alto es suficiente para reducir la tasa de falsos positivos hasta el 5.5%, con una sensibilidad del 88.5%

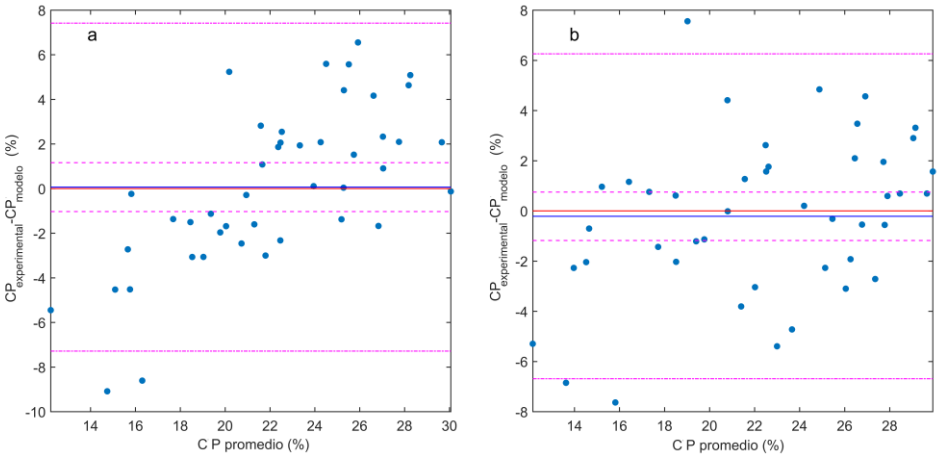


Figura 5: Diagramas Bland-Altman para las predicciones de CP a partir de la cámara, a) con el modelo derivado de las transmitancias, b) con un modelo específico para la cámara.

4. Discusión

A pesar de los errores de medida inherentes al dispositivo de captura utilizado, sería posible implementar una aplicación móvil para determinar si el aceite de fritura es apto para consumo humano, bajo condiciones controladas. Sin embargo, si no se muestra que el procedimiento es relativamente insensible a cambios en las condiciones de iluminación, su aplicación en el ámbito doméstico sería inviable. En pruebas previas, hemos mostrado que el modelo derivado bajo nuestras condiciones de iluminación estandarizadas puede seguir utilizándose bajo luz de día, con sólo una ligera pérdida de sensibilidad y especificidad.

Agradecimientos: Este trabajo se ha realizado gracias al Proyecto Agencia Estatal de Investigación/FEDER CTQ2016-78053-R

Bibliografía

[1] E. Choe, D.B. Min. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. J. Food Sci., 72, 77-86. (2007).
[2] Boletín Oficial del Estado. Orden de 26 de enero de 1989 por la que se aprueba la Norma de Calidad para los Aceites y Grasas Calentados. Reference: BOE-A-1989-2265.
[3] R. Yamsaengsung, S. Yaeed, T. Ophithakorn. Vacuum frying of fish tofu and effect on oil quality usage life. J. Food Process Eng., 40, 1-9 (2017).
[4] C. Teangpook, U. Paosangtong, Y. Titatarn, S. Onhem, W. Puminat. Quality of repeated use of oil for frying chinese Deep fried dough (Pa-Tong-Kho). Curr. Appl. Sci. Technol., 18, 24-30 (2018).
[5] B. Kirmanci, R.K. Singh. Process severity affects texture and color of potato strips baked in pilot-scale infrared Radiant Wall Oven. LWT-Food Sci., 97, 261-268 (2018).
[6] M. Sansano, R. De los Reyes, A. Andrés, A. Heredia. A. Effect of microwave frying on acrylamide generation, mass transfer, color, and texture in french fries. Food Bioprocess Technol., 11, 1934-1939 (2018).
[7] M. Siddiq, S. Alam, H.U. Shah, Z. Iqbal, K. Siddiq, T. Ahmad. Sensory evaluation of olive and palm oil blends during frying of potato chips. Sarhad J. Agric., 34, 690-695 (2018).
[8] A. Ren, S. Pan, W. Li, G. Chen, X. Duan. Effect of various pretreatments on quality attributes of vacuum-fried shiitake mushroom chips. J. Food Qual. Article ID 4510126 (2018).
[9] J. Fang, H. Xu, Z. Wang, X. Wu. Colorimetric characterization of digital cameras with unrestricted capture settings applicable for different illumination circumstances. J. Mod. Opt. 63:847–60 (2016).
[10] F. Martínez-Verdú, M.J. Luque, P. Capilla, J. Pujol, Concerning the calculation of the color gamut in a digital camera, Col. Res. App., 31: 399-410 (2006).
[11] G. Hong, M. R. Luo, P. A. Rhodes, A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling, Col. Res. App. 26: 76–84 (2001).
[12] J. Malo, M.J. Luque. ColorLab: the Matlab toolbox for Colorimetry and Color Vision. Valencia: Universidad de Valencia (2002). http://isp.uv.es/code/visioncolor/colorlab.html

Using color determination to study vegetable oils enriched with carotenoids from microalgae and fungi

Mª Carmen Murillo-Cruz[1], Ana Belén García-Ruíz[1], Mariela Chova-Martínez[2], Antonio Estrella de Castro[3], Ruperto Bermejo-Román[1*]

*(1) Departamento de Química Física y Analítica, Escuela Politécnica Superior de Linares, Universidad de Jaén, 23700 Linares, Spain. *e-mail: rbermejo@ujaen.es*
(2) Cortijo de la Loma S.L. (Castillo de Canena Olive Juice), Jaén, Spain.
(3) DSM Vitatene SAU-Nutritional Products, León, Spain.

1.-Introducción

El interés por los carotenoides ha crecido recientemente en base a estudios que sugieren el efecto protector antioxidante que estos compuestos tienen. Así, es bien conocido que la generación de radicales libres en organismos sanos, está relativamente equilibrada con los sistemas endógenos de defensa antioxidante, pero cuando el equilibrio se rompe, aparece el denominado estrés oxidativo, que normalmente desencadena procesos patológicos en organismos vivos (Sies, 1993).

Para el tratamiento y prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo y en general al déficit de antioxidantes, se vienen utilizando fármacos que contienen compuestos antioxidantes de carácter sintético, habiendo resultado algunos de ellos tóxicos y carcinogénicos en modelos animales (Tang y col., 2001). Así, las investigaciones actuales van dirigidas al desarrollo y utilización de moléculas más seguras y económicas de origen natural.

Muchos de los alimentos, poseen compuestos antioxidantes naturales de la familia de los carotenoides. Sin embargo, la dosis de carotenoides recomendadas para la prevención de ciertas patologías, difícilmente pueden ser cubiertas por modificaciones dietarias, por lo que es conveniente administrar suplementos que incluyan en sus formulaciones extractos enriquecidos en los mismos. En este contexto, existe en la actualidad un interés creciente en el desarrollo de alimentos funcionales, que son aquellos capaces de proporcionar efectos beneficiosos para la salud, adicionalmente a su valor nutritivo o energético.

Los carotenoides son una familia de pigmentos fotosintéticos que se pueden dividir en carotenos y xantofilas, siendo dos de los compuestos más relevantes el beta-caroteno y la luteína. Ambos compuestos tienen contrastadas propiedades antioxidantes de gran utilidad en la lucha contra un gran conjunto de enfermedades que afectan al ser humano, y por ello, es muy importante incorporar al organismo las cantidades mínimas necesarias para la lucha contra: ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, daños en la retina (degeneración macular), efectos nocivos en la piel, etc. En particular, el beta-caroteno es un importante compuesto precursor de vitamina A, existiendo numerosos estudios que describen sus propiedades anti-oxidantes, anti-inflamatorias y anti-cáncer (Saini y col., 2015; Song y col., 2011).

El aceite de oliva posee, debido a su composición química, importantes propiedades que lo hacen un alimento muy saludable y recomendado, presentando además un alto factor de digestibilidad, parámetro muy importante en alimentación. Además, por sus características y por contener pequeñas cantidades de carotenoides, puede ser un adecuado medio para ser enriquecido en estos antioxidantes. En este sentido, existen trabajos en los que se pone de manifiesto que matrices alimenticias ricas en grasas, como lo es el aceite de oliva, pueden facilitar y/o beneficiar el proceso de bioasimilación de este tipo de carotenoides (Nidhi & Baskaran, 2011).

Nuestro grupo de investigación ha puesto a punto la metodología necesaria para enriquecer en carotenoides diferentes tipos de aceites vegetales, los cuales han sido caracterizados físico-químicamente. Así, se ha utilizado la medida del color como variable de caracterización para el seguimiento de la evolución y estabilidad de las diferentes muestras de aceites frente a las variables de degradación características en este tipo de matrices alimentarias: radiación, temperatura y tiempo.

2. Materiales y Métodos

Se ha obtenido un extracto de carotenoides procedente de la microalga *Scenedesmus almeriensis*, mediante el desarrollo de una metodología descrita previamente (Cerón y col., 2010). La Figura 1, muestra el extracto obtenido y utilizado en el enriquecimiento de aceites (2.45 mg luteína/ml de aceite y 3.27 mg de beta-caroteno/ml de aceite) y disolución de beta-caroteno procedente de *Blakeslea trispora* (4 mg/ml de aceite).

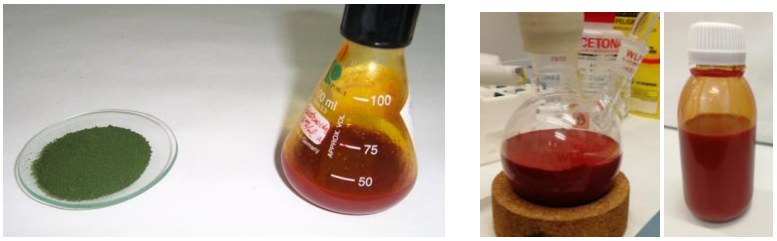


Figura 1.- Izda.: Biomasa de *Scenedesmus almeriensis* y extracto de carotenoides. Dcha.: Disolución de beta-caroteno procedente del hongo *Blakislea trispora*.

La determinación espectrofotométrica del color se ha utilizado para caracterizar y monitorizar las muestras de aceites usando un espectrocolorímetro Konica Minolta CM-5. El equipo, trabajando en modo transmitancia, proporciona medidas en el espacio de color CIELAB, utilizando iluminante D65 y observador patrón colorimétrico CIE 1931. Se colocaron 14 ml de aceite en una cubeta transparente con unas dimensiones de 4.2 x 3.2 x 1.0 cm y se midieron los valores de los parámetros colorimétricos de cada muestra (L*, a*, b*), así como los correspondientes a las variaciones de los mismos por comparación con el aceite control (ΔL*, Δa*, Δb* y ΔE*ab).

Para las medidas de fotoestabilidad, se han sometido las muestras a exposición a la luz, en cabina de luz CAC 60 VeriVide, con fuente de luz UV y lámpara UV Black light-Blue de 18W. Las medidas se tomaron a intervalos temporales distribuidos a lo largo de meses y se midieron a temperatura ambiente.

También se han realizado medidas de degradación de los aceites en función de la temperatura, siguiendo dos tipos de experimentos: a) tratamiento en baño, sumergiendo las muestras en un termostato de precisión Julabo, dotado de líquido Thermal H5S, a 120 ºC y tomando las medidas a intervalos de tiempo regulares; b) tratamiento en microondas, colocando las muestras en tubos de vidrio (16 ml de aceite) para su calentamiento en horno de microondas (LG) a una potencia de 700W y a diferentes tiempos de calentamiento. La Tabla 1 muestra las diferentes variedades e índices de maduración de aceites vegetales utilizados (obtenidos en diferentes meses).

Tabla 1.- Aceites utilizados para los ensayos de enriquecimiento en compuestos bioactivos.

<table>
<tr><th colspan="3">Enriquecido con extracto de Microalga (Luteína+beta-caroteno)</th><th colspan="3">Enriquecimiento con beta-caroteno procedente de Hongos</th></tr>
<tr><td>Tipo de aceite</td><td colspan="2">Variedad</td><td>Tipo de aceite</td><td colspan="2">Variedad</td></tr>
<tr><td rowspan="10">Oliva Virgen</td><td rowspan="4">Picual</td><td>Octubre</td><td rowspan="10">Oliva Virgen</td><td rowspan="4">Picual</td><td>Octubre</td></tr>
<tr><td>Noviembre</td><td>Noviembre</td></tr>
<tr><td>Diciembre</td><td>Diciembre</td></tr>
<tr><td>Enero</td><td>Enero</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Arbequina</td><td>Octubre</td><td rowspan="4">Arbequina</td><td>Octubre</td></tr>
<tr><td>Noviembre</td><td>Noviembre</td></tr>
<tr><td>Diciembre</td><td rowspan="2">Diciembre</td></tr>
<tr><td>Enero</td></tr>
<tr><td>Frantoio</td><td>Octubre</td></tr>
<tr><td>Royal</td><td>Octubre</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Girasol</td><td colspan="2">Coosol</td><td rowspan="3">Girasol</td><td colspan="2">Abaco Sol</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Hacendado</td><td colspan="2">Auchan</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coosol</td></tr>
<tr><td colspan="2">Koipesol</td><td colspan="2">Ondosol</td></tr>
</table>

3. Resultados y Discusión

Ensayos de Foto-estabilidad (en Cabina de control de iluminación).

A título de ejemplo, en la Figura 2 (izquierda), se puede comparar el aceite de la variedad Arbequina correspondiente al mes de octubre con el mismo aceite enriquecido. Se observa que al comienzo de la degradación es menos tardío (a partir del quinto día de exposición a la radiación aproximadamente) en el caso del aceite sin enriquecer que para el enriquecido, cuya degradación comienza en torno al trigésimo día. Por otro lado, la Figura 2 (derecha) corresponde con aceites de la variedad Arbequina enriquecidos en carotenoides para distintos meses de maduración del fruto. Se observa que, al final del calentamiento los aceites más estables se corresponden con los meses de octubre y enero, mientras que los menos estables con noviembre y diciembre.

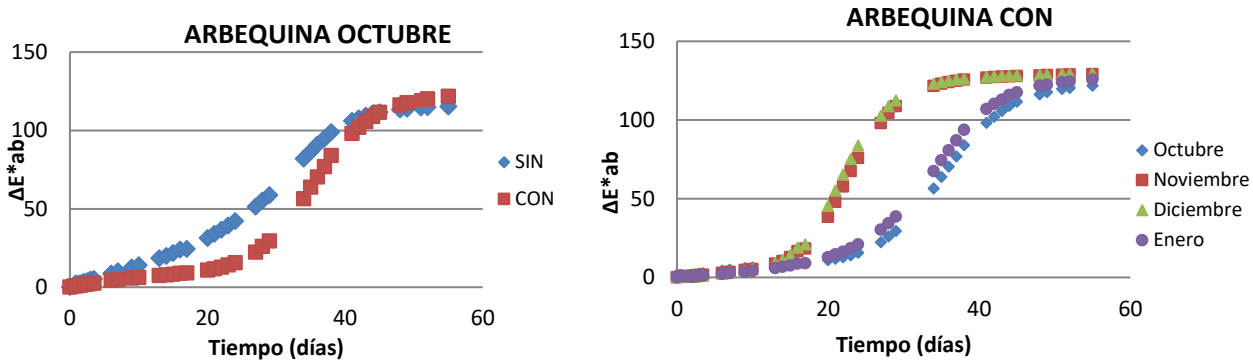


Figura 2.- Seguimiento de la foto-estabilidad de los aceites de oliva virgen extra. Izquierda: Aceite variedad Arbequina "con" y "sin" enriquecer en carotenoides (mes de octubre). Derecha: aceites enriquecidos en carotenoides en función del grado de maduración del fruto (todos los aceites de variedad Arbequina).

Ensayos de Termo-estabilidad (Ensayos en Baño Termostático).

Como ejemplo, la Figura 3 muestra los resultados obtenidos con algunos de los aceites de girasol ensayados, Coosol, Hacendado y Koipesol.

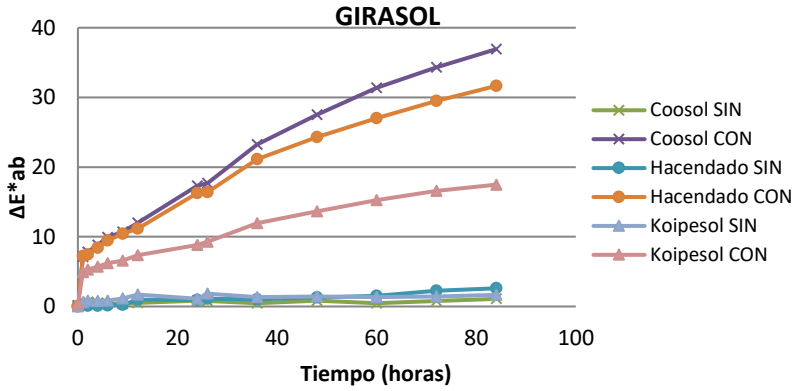


Figura 3.- Seguimiento de la variación del color en baño termostático de los aceites de Girasol.

Los aceites sin enriquecer muestran variaciones de color muy pequeñas en comparación con los aceites enriquecidos. Además, dentro de los aceites enriquecidos es el de la marca Koipesol el que menos varieación de color sufre durante el calentamiento.

Ensayos de Termo-estabilidad (en Horno de Microondas).

Tras el sometimiento de los diferentes tipos de aceites a calentamiento utilizando microondas, en términos generales todos los aceites mostraron una mejor estabilidad cuando fueron enriquecidos con el extracto de antioxidantes comparados con los aceites control (sin enriquecer). Dependiendo del aceite ensayado, se

pueden apreciar aumentos de estabilidad más o menos importantes. A modo de ejemplo, la Figura 4 muestra los resultados para el aceite de oliva virgen extra de variedad Picual-Noviembre. Se puede apreciar como el aceite Picual enriquecido es más estable que el mismo sin enriquecer.

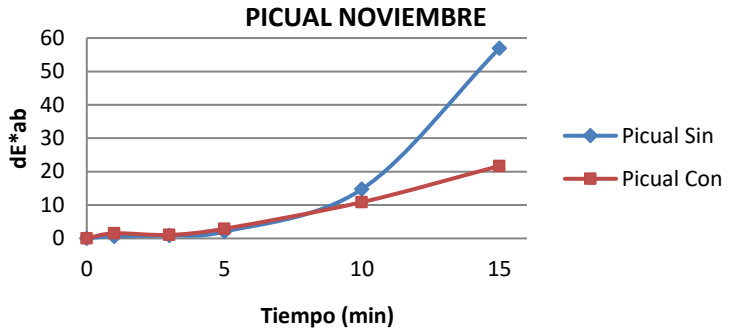


Figura 4.- Seguimiento de la estabilidad frente al calentamiento en microondas mediante la medida de la variación del color. Aceite de oliva "Picual-Noviembre".

4. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos, se puede concluir que la adición de extractos de carotenoides a los aceites de oliva virgen, no sólo mejora ciertos parámetros de composición, bioactividad y calidad de los mismos (Limón y col., 2015), sino que además aumenta la estabilidad y por tanto hacen que los aceites sean más resistentes a la degradación por exposición a la radiación y la temperatura. El comportamiento colorimétrico tras el enriquecimiento, depende claramente de la naturaleza y variedad de los aceites. Estos resultados, hacen albergar buenas perspectivas en la posible introducción de estos aceites enriquecidos en carotenoides como alimentos funcionales, pudiéndose incrementar la ingesta diaria de estos compuestos esenciales a través de la dieta, mejorando además las propiedades saludables y nutricionales de los aceites.

5. Agradecimientos

Mª Carmen Murillo agradece a la Universidad de Jaén y a la empresa de Castillo de Canena Olive Juice, por la cofinanciación de su beca de doctorado industrial.

6. Referencias

Cerón García, M.C., Campos Pérez, I., Macías Sánchez, M.D., Bermejo Román, R., Fernández Sevilla, J.M and Molina Grima, E. (2010) Stability of carotenoids in Scenedesmus almeriensis biomass and extracts under storage conditions. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58, 6944-6950.

Nidhi, B. y Baskaran, V, (2011) Influence of vegetable oils on micellization of lutein in a simulated digestion model, J. Am. Oil Chem. Soc. 88, 367-372.

Limón, P., Malheiro, R., Casal, S., Acién-Fernández, F. G., Fernández-Sevilla, J. M., Rodrigues, N., Cruz, R., Bermejo, R. y Pereira, J. A. "Improvement of stability and carotenoids fraction of virgin olive oils by addition of microalgae Scenedesmus almeriensis extracts", Food Chemistry 175, pp. 203-211 (2015).

Saini, R.K., Nile, S.H. & Park, S.W. (2015). Carotenoids from fruits and vegetables: chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. Food Research International, 76, 735-750.

Sies, H. (1993) Strategies of antioxidant defense. *European Journal of Biochemistry*. 215(2): 213-219.

Song, L.L., Liang, R., Li, D.D., Xing, Y.D., Han, R.M., Zhang, J.P. & Skibsted, L.H. (2011). Beta-carotene radical cation addition to green tea olyphenols. Mechanism of antioxidant antagonism in peroxidizing liposomes. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59, 12643-12651.

Tang, S., Sheehan D., Buckely, D.J., Morrissey, P.A., Kerry J.P. (2001) Antioxidant activity of added tea catechins on lipid oxidation of raw minced red meat, poultry and fish muscle. International Journal of Food Science and Technology . 36: 685–692.

Caracterización colorimétrica y granulométrica de polen apícola mediante análisis de imagen digital

Claudia Y. Salazar-González[1*], Francisco J. Rodríguez Pulido[2], Consuelo Díaz-Moreno[3], Carlos A. Fuenmayor[3], Francisco J. Heredia[2].

[1]*Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Carrera 30 # 45-03. Bogotá D.C., Colombia*

[2]*Laboratorio Color y Calidad de Alimentos, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, 41012 Sevilla, Spain. http://www.color.us.es*

[3]*Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA). Universidad Nacional de Colombia. Carrera 30 # 45-03. Bogotá D.C., Colombia*

1. Introducción

Los productos de la colmena están obteniendo atención por su composición nutricional y bioactiva, la cual está asociada a beneficios a la salud [1]. Uno de los principales productos es el polen apícola, resultado de la aglutinación de polen floral de diferentes orígenes botánicos por las abejas obreras mediante el pecoreo o recolección de néctar y polen [2]. Es un alimento que contiene nutrientes como proteínas con un contenido entre 7.5-40%; carbohidratos entre 15-60%; lípidos con contenidos entre 0.5-20%; micronutrientes como minerales y vitaminas y compuestos bioactivos, que poseen características antioxidantes [3]. Esta composición varía por diversas condiciones: clima, origen botánico, época del año, edad y estado nutricional de la planta, formas de recolección del polen, métodos de extracción, condiciones de almacenamiento y procesos de tratamiento sobre el polen fresco [4]. Adicionalmente, se generan diversidad de colores y siendo el color una de las principales características de aceptación para los consumidores, la importancia de su evaluación es cada vez mayor [5].

En el caso del polen apícola, cada uno de los pellets tiene una tonalidad diferente, por tal razón el color no puede ser evaluado mediante colorimetría triestímulo convencional, debido a que esta genera valores promedio de las coordenadas colorimétricas. Debido a la naturaleza heterogénea del polen apícola, es más acertado utilizar colorimetría por análisis de imagen, donde, además del color, pueden evaluarse otros parámetros relacionados con la apariencia [6]. Este análisis se ha utilizado ampliamente en alimentos: vinos, gulupa, semillas de uva, corteza de pan, entre otros [7]. Existe un estudio anterior donde se ha caracterizado polen apícola del altiplano Cundiboyacense utilizando el espacio de color RGB [8], sin embargo, una caracterización colorimétrica en profundidad y considerando el tamaño de partícula aún no se ha llevado a cabo. Por tal razón, el objetivo de este trabajo fue caracterizar el color del polen apícola del altiplano Cundiboyacense a lo largo de un año de cosecha y en diferentes tamaños de partícula mediante análisis de imagen utilizando el sistema DigiEye® (VeriVide Ltd., Leicester, Reino Unido) y espacios de color recomendados por la CIE.

2. Materiales y métodos

El polen apícola se recolectó mensualmente mediante un muestreo aleatorio durante un periodo de un año. La unidad experimental fue un apiario en la región geográfica del bosque alto-andino colombiano (2.800 y 3.200 msnm). El análisis granulométrico se realizó mediante una zaranda con un juego de tamices números 7, 10, 12, 16, 18, 30 y fondos, de acuerdo a estudios previos realizados en la separación de polen apícola de esta región [9]. Las fracciones seleccionadas para los ensayos fueron las de los tamices 10 (2.00 mm), 12 (1.68 mm), 16 (1.19 mm) y los fondos (< 0.6 mm), por ser las que presentaron una mayor coloración amarillo-naranja. Todas las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente

hasta los análisis. Las muestras de polen fueron distribuidas homogéneamente en cajas de Petri en el momento del análisis de imagen.

Para el análisis de imagen se utilizó el sistema DigiEye®, que consiste en una cabina de iluminación diseñada por VeriVide Ltd. (Leicester, Reino Unido) que ilumina la muestra de manera uniforme con dos lámparas fluorescentes que emulan el iluminante D65, una cámara digital Nikon® D80 de 10.2 megapixeles con un objetivo 35mm f/2D y un computador Pentium IV. Las lámparas fueron estabilizadas durante 10 minutos antes de las mediciones, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y la cámara fue calibrada con la carta de calibración DigiTizer incluida en el equipo [6,7]. Las imágenes se evaluaron en primera medida mediante un análisis visual experto, del cual se seleccionaron los tipos de colores más representativos presentes en todas las muestras. Se establecieron un máximo de 12 grupos, a los que se les determinaron las coordenadas colorimétricas en el espacio CIELAB mediante el software DigiFood® [6]. Adicionalmente se establecieron 3 posibilidades de agrupación (5, 7 y 12 grupos), de acuerdo a la afinidad entre los colores de cada grupo inicial y el color medio de cada grupo se obtuvo a partir de las imágenes de DigiEye de acuerdo a cada posibilidad de agrupación. Las coordenadas colorimétricas de todos los píxeles posibles fueron determinadas. Para el procesamiento de las imágenes se efectuó mediante un algoritmo hecho ad hoc con MATLAB 2016a (The Mathworks Inc., Natik, USA) [10]. La selección del número de grupos fue realizada calculando el porcentaje de píxeles en cada grupo de cada imagen. Entonces, se realizó una comparación entre los porcentajes y las imágenes reales y las obtenidas por la programación en Matlab®. El análisis de clasificación permitió identificar siete grupos, como la selección que proporciona más información para una categorización similar de píxeles con la imagen original.

3. Resultados y Discusión

El análisis de clasificación permitió identificar 7 grupos, como la selección que aporta más información para una categorización de los píxeles similar a la imagen original (Fig. 1). La selección de 12 grupos presenta sobreestimación de los datos, debido a que algunos grupos son poco representativos, es decir, los píxeles asociados a ellos son pocos; esto genera un exceso de grupos que no aportan a la clasificación. La selección de 5 grupos genera pérdida de información debido a que píxeles claramente diferentes se agruparon en tonalidades similares.

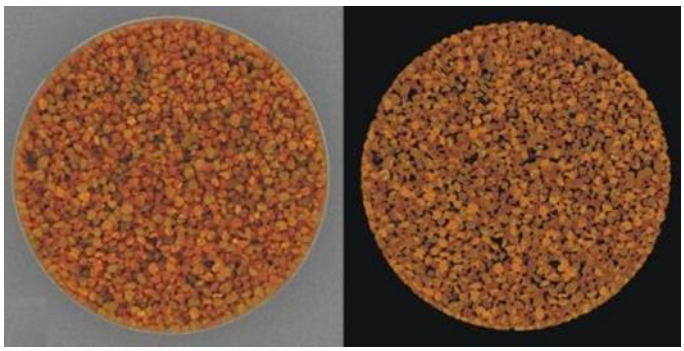


Figura 1: Comparación entre las imágenes reales (fondo gris) y las obtenidas por el algoritmo (fondo negro)

A continuación, se presentan las coordenadas colorimétricas de los 7 grupos seleccionados:

Group	L*	a*	b*	C^*_{ab}	h_{ab}
A	41.87	11.01	30.36	32.30	70.08
B	57.58	28.53	59.47	65.96	64.37
C	66.01	21.21	71.83	74.90	73.55

D	44.50	19.76	40.24	44.83	63.85
E	36.99	27.67	31.64	42.03	48.83
F	60.85	10.82	48.37	49.56	77.40
G	23.87	15.00	12.11	19.28	38.92

Tabla 1: Coordenadas colorimétricas de los 7 grupos seleccionados

El croma (C^*_{ab}) y el tono (h_{ab}) identificaron el color de los distintos grupos, lo que permitió hacer una caracterización de las muestras o meses de acuerdo con la similitud. El grupo E tiene valores de C^*_{ab} y h_{ab} en la zona de los naranjas y su valor de L* lo presentaron como el color más oscuro después del grupo G, mientras que A, C y F al tener mayor valor en el tono (h_{ab}) tienen una coloración amarilla; de los tres grupos C es el más claro (valor de L* más alto). El grupo C es el que tiene el mayor valor de C^*_{ab}, por tanto, es el color más vivo de todos los amarillos presentes en el polen. Los grupos A y G son los que presentan los valores de C^*_{ab} más bajos; el grupo G es el más oscuro debido a que su valor de L* es el más bajo, igualmente el valor en croma hace que este grupo esté cerca de la zona de los grises.

Establecidos los grupos de color representativos se realizó un análisis en profundidad teniendo en cuanta también el tamaño de partícula y la fecha de muestreo y se obtuvieron los porcentajes de cada grupo de color en cada tamaño, esto se ilustra en la Fig. 2. El grupo mayoritario es el D, que tiene porcentajes superiores al 20% en la mayoría de las muestras, seguido de los grupos E, F, y B. Los grupos A, C y G podrían considerarse minoritarios en algunas épocas del año. Se puede observar la presencia de varios tipos de polen a lo largo del tiempo, excepto en el tamizado 4 (tamaño<0.6 mm) donde el color es más homogéneo y hay menos grupos presentes.

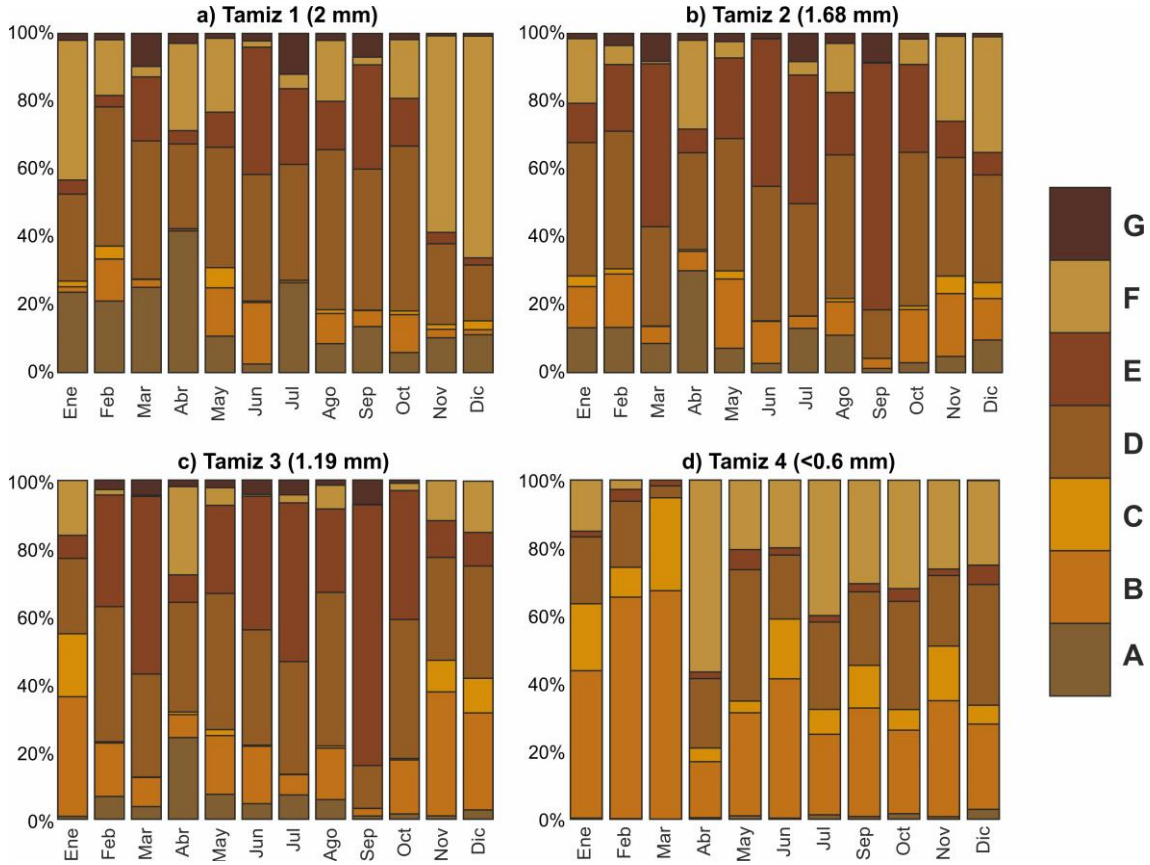


Figura 2: Porcentajes de cada grupo a lo largo del año de cosecha, categorizados por tamaño de partícula. **a** tamiz 1, **b** tamiz, 2 **c** tamiz 3, **d** tamiz 4

La clasificación de las muestras de polen en grupos de color de acuerdo con el tamaño de partícula es una herramienta que permite tener relaciones entre los dos criterios y puede generar un primer acercamiento de la interacción basándose en alguno de los dos criterios. En ambos casos se realizaron teniendo como mínimo 20% del grupo de color.

Tomando las coordenadas colorimétricas como la variable conocida se pueden conocer los tamaños de partículas de cada uno de los grupos: A se encuentra entre 2-00-1.68 mm, B entre 1.68-1.19 mm, C tiene tamaños menores a 0.6 mm, E tiene un rango 2.00-1.19 mm, F tiene tamaños de 2.00 mm y menores a 0.6 mm y G está entre 2.00-1.68 mm, pero la poca cantidad encontrada (máximo 12% en una sola muestra) puede generar un error en la asignación del tamaño de partícula. D es el grupo que presenta todos los tamaños estudiados, va desde 2.00 mm hasta menores de 0.6 mm; al estar presente en todos los tamizados y durante todo el año se puede concluir que viene de alguna especie floral que se encuentra en floración durante todo el año y además es un recurso fácil de encontrar para las abejas, ya que realizan pellets de todos los tamaños. Si el tamaño de partícula es el parámetro conocido los grupos que se pueden inferir son: en el tamizado 1 A, D, F y un poco de E, en el tamizado 2 D, E y un poco de F, en el tamizado 3 B, D, E y en el tamizado 4 B, C, D y F. Este último es el que tiene el tamaño de partícula más pequeño y es posible que en el momento del tamizado (por efecto del movimiento y el golpe) partículas de polen de los grupos mencionados puedan desprenderse y mezclarse, por esta razón es el tamizado que tiene predominancia de más grupos de color. En este caso para mejorar las relaciones es necesario adicionar más mallas en el tamizado, para separar mejor por colores y establecer un grupo por tamiz.

4. Conclusiones

El análisis de imagen es una herramienta eficaz que permite conocer y clasificar los diferentes grupos de color que existen en muestras individuales de polen apícola, permitiendo establecer el color del polen apícola teniendo en cuenta la heterogeneidad de la matriz, la época de cosecha y el tamaño de partícula. Esta metodología también permite determinar la cantidad de cada grupo de color en muestras complejas y relacionando las coordenadas colorimétricas con el tamaño de partícula y el mes de cosecha se puede seleccionar el polen apícola para distintos procesos de inclusión en la industria alimentaria.

Agradecimientos: Queremos agradecer a la Convocatoria Nacional de Proyectos para el Fortalecimiento de la Investigación, Creación e Innovación 2016-2018 de la DIB de la Universidad Nacional de Colombia. A la Asociación Universitaria Iberoamericana de Posgrado - AUIP- y su programa Becas de Movilidad entre Universidades Convocatoria Andaluzas e Iberoamericanas 2017. De igual forma, agradecer al Apiario Los Cerezos en Boyacá, Colombia por el material para esta investigación. Finalmente, estamos en deuda con el personal del Servicio de Biología (SGI, Universidad de Sevilla) por la asistencia técnica.

Bibliografía

[1] JA. Gasparotto Sattler, IL. Pereira de Melo, D. Granato, E. Araújo, A. da Silva de Freitas, OM. Barth, et al., "Impact of origin on bioactive compounds and nutritional composition of bee pollen from southern Brazil: A screening study", Food. Res. Int. **77**, Part 2, p. 82–91 (2015).
[2] CA. Fuenmayor, MC. Quicazán., "Aplicación de Bioprocesos en Polen de Abejas para el Desarrollo de un Suplemento Nutricional Proteico", Maestría en Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia (2009).
[3] C. Salazar-González, C. Díaz-Moreno, "The nutritional and bioactive aptitude of bee pollen for a solid-state fermentation process" J. Apic. Res. **16;55(2)**, p. 161–75 (2016).
[4] D. Domínguez-Valhondo, DG. Bohoyo, MT. Hernández, D. González-Gómez, "Influence of the commercial processing and floral origin on bioactive and nutritional properties of honeybee-collected pollen", Int. J. Food. Sci. Technol, **46(10)**, p. 2204–11 (2011).
[5] S. Wibowo, L. Vervoort, J. Tomic, JS. Santiago, L. Lemmens, A. Panozzo, et al., "Colour and

carotenoid changes of pasteurised orange juice during storage", Food. Chem. **15;171**, p. 330–40 (2015).

[6] FJ. Rodríguez-Pulido, L. Gómez-Robledo, M. Melgosa, B. Gordillo, ML. González-Miret, FJ. Heredia, "Ripeness estimation of grape berries and seeds by image analysis", Comput. Electron. Agric, **82**. p. 128–33 (2012).

[7] FJ. Rodríguez-Pulido, ML. González-Miret, FJ. Heredia, "Application of imaging techniques for the evaluation of phenolic maturity of grape seeds", Opt. Pura y Apl. **50(1)**, p. 1–11 (2017).

[8] C. Zuluaga, A. Durán, M. Quicazán, "Caracterización del color de polen apícola colombiano mediante análisis de imágenes y estadística multivariada", *Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos,* p. 343 (2014).

[9] A. Durán, M. Quicazán, CL. Baracaldo, AM. Castañeda, LF. Niño "Caracterización granulométrica y colorimétrica del polen apícola: efecto del procesamiento", *ENID-UN*, p. 1–7 (2013).

[10] CY. Salazar-González, FJ. Rodríguez-Pulido, A. Terrab, C. Díaz-Moreno, CA. Fuenmayor, FJ. Heredia, "Analysis of Multifloral Bee Pollen Pellets by Advanced Digital Imaging Applied to Functional Food Ingredients", Plant. Foods. Hum. Nutr, **73(4)**, p. 328–35 (2018).

Colorimetric evaluation of biliproteins as natural colorants to be used in food and beverages

Ana B. García[1], Mª Carmen Murillo[1], Eleonora Longo[2] and Ruperto Bermejo[1*]

*(1) Departamento de Química Física y Analítica, Escuela Politécnica Superior de Linares, Universidad de Jaén, 23700 Linares, Spain. *e-mail: rbermejo@ujaen.es*
(2) Departamento de Ciencias Farmacéuticas, Centro de Biotecnología CRIBI, Universidad de Padua, Italia.

1.-Introducción

En la actualidad, el color es considerado por parte del consumidor como uno de los atributos más importantes para la aceptación de un alimento (Wrolstad y col., 2005). Así, el mercado de los colorantes naturales ha crecido considerablemente aunque siguen predominando los de carácter sintético. La demanda por parte de los consumidores de reemplazar los colorantes sintéticos por compuestos de origen natural, especialmente en industrias como las de la alimentación, farmacia o cosmética, es consecuencia de los numerosos estudios que muestran que los colorantes sintéticos son potencialmente tóxicos en organismos susceptibles. Sin embargo, 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 (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003).

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 en amplios sectores, 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 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 (Bermejo, 2008; 2009).

En este trabajo, se ha estudiado la utilización de estos colorantes en diferentes alimentos y bebidas. El objetivo es comparar las nuevas moléculas con las moléculas sintéticas que se utilizan habitualmente.
Se ha utilizado caracterización espectroscópica midiendo, entre otros, los parámetros de color en el espacio CIELAB, habiéndose obtenido los factores de coloración y determinando la estabilidad de las muestras frente a variables de degradación como el tiempo y la exposición a la luz.

2. Materiales y Métodos

Para la coloración se han obtenido dos extractos ricos en biliproteínas a partir de microalgas liofilizadas, mediante la metodología desarrollada anteriormente por nuestro grupo de investigación. Así, se ha utilizado un extracto de B-ficoeritrina procedente de *Porphyridium cruentum* (Bermejo y col., 2013) y otro de C-ficocianina procedente de *Spirulina Platensis* (Bermejo y Ramos, 2012; Ramos y col., 2011). La Figura 1 muestra estos dos extractos. El primero (izq.) se utiliza para la aditivación de productos lácteos y el segundo (dcha.) está destinado a bebidas isotónicas, tónicas y vinos.



Figura 1.- Izda.: Biomasa de *Porphyridium cruentum* y extracto de B-ficoeritrina. Dcha.: Biomasa de *Spirulina Platensis* y extracto de C-ficocianina.

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 de este instrumento, con material totalmente opaco (0% de transmitancia) y con una cubeta con agua destilada (100% transmitancia), se procedió a medir los parámetros de color (L*, a*, b*) de las muestras en cubetas (4.2 x 3.2 x 1.0 cm) de cada muestra aditivada progresivamente con el extracto, así como la variación del ΔE*ab por comparación con el patrón correspondiente. La Tabla 1 muestra las diferentes muestras ensayadas.

Tabla 1.- Muestras ensayadas con los extractos de biliproteínas obtenidos a partir de microalgas.

Extracto utilizado	Tipo de muestra	Muestra (Patrón)	Blanco
Extracto de *Porphyridium cruentum*	Batidos de fresa	Puleva	Leche Semidesnatada Puleva
		Pascual	
		Covap	
		Hacendado	
		Auchan	
		Asturiana	
		Okey	
	Yogures de fresa semisólidos	Danone	Yogur Natural Danone
		Clesa	
		Hacendado	
		Auchan	
		Nestlé	
	Yogures líquidos de fresa	Danone	Yogur Líquido Hacendado Natural
		Día	
		Hacendado	
		Auchan	
		Nestlé	
Extracto de *Spirulina Platensis*	Bebidas isotónicas	Powerade	Upgrade Neutral
		Upgrade Blue	
		Isodrink	
		Powerade zero	Distilled water
	Tónicas	Nordic Blue	Nordic Original
		Original Citrus	Original Classic
	Vino Moscato	Moscato Blue Vega Cristina	Moscato Blanco Cueva Peccato
		Moscato Blue Don Luciano	Moscato Gold Don Luciano

Además, las muestras de bebidas isotónicas han sido también usadas para estudios de estabilidad del color frente a variables de degradación como la luz y el tiempo.

3. Resultados y Discusión

Ensayos de coloración de productos lácteos con el extracto de B-ficoeritrina

En la Figura 2 (izquierda), se muestran las curvas de coloración de los distintos batidos de fresa ensayados, mostrando el comportamiento del color a medida que aumenta en la matriz el volumen de extracto. El experimento se da por concluido cuando se alcanza el valor de ΔE*ab aproximadamente de 5. Este valor se ha alcanzado en todos los casos en este tipo de muestra. De esta forma se comprueba, por ejemplo, que el batido de la marca Hacendado es el que mayor volumen de extracto requiere, ya que su color es más intenso que el del resto de batidos, tal y como puede observase en la Figura 2 (dcha). Todo lo contrario ocurre con el batido Asturiana.

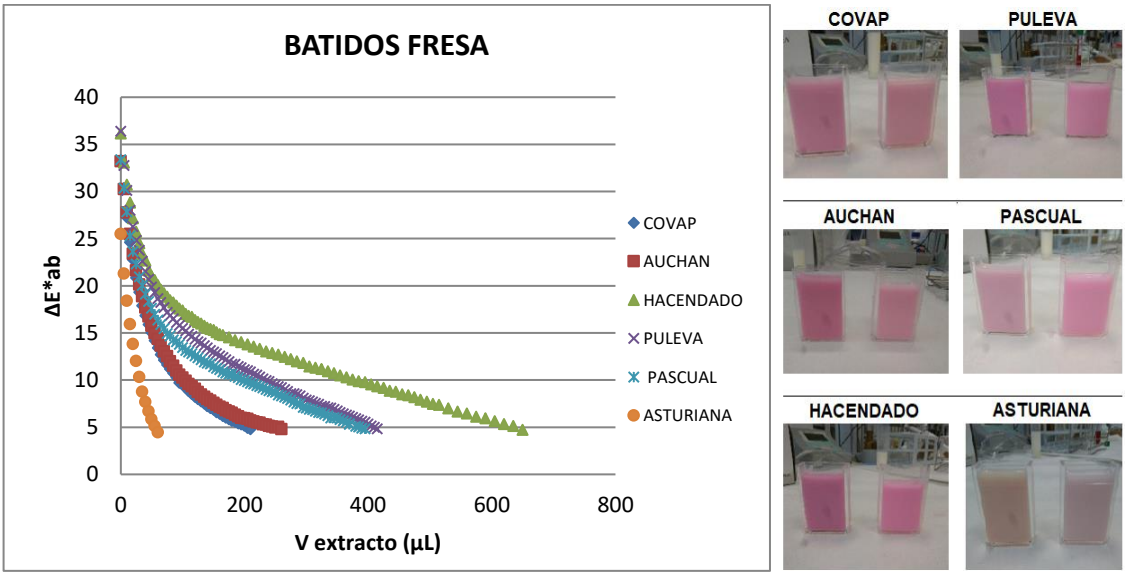


Figura 2.- Izquierda: Seguimiento de la coloración de los batidos de fresa ensayados. Derecha: comparación del color obtenido con el extracto de B-ficoeritrina (a la derecha) con el del batido comercial (a la izquierda)

En la Tabla 2, a título de ejemplo se engloban todos los factores de tinción de los diferentes batidos ensayados, permitiendo la cuantificación de la cantidad de extracto necesaria en cada uno de ellos por unidad de volumen y la comparación entre unos y otros.

Tabla 2-. Factores de tinción en batidos de fresa.

MARCA (batido de fresa)	Volumen extracto ΔE≈5	Volumen extracto ΔE≈10	FACTOR TINCIÓN REAL (mg/ml)	FACTOR TINCIÓN ACEPTABLE (mg/ml)	FACTOR TINCIÓN REAL (mg/L)	FACTOR TINCIÓN ACEPTABLE (mg/L)
Covap	205	95	0,016116	0,007527068	16,11684	7,527068255
Auchan	260	105	0,020362	0,008313493	20,36203	8,313493043
Hacendado	650	375	0,049549	0,029133371	49,54993	29,13337127
Puleva	410	230	0,031775	0,018050543	31,77512	18,05054275
Pascual	390	195	0,030267	0,015341455	30,26712	15,34145476
Asturiana	60	30	0,004765	0,002387981	4,765771	2,387981252
					[B-PE]	**1,116779232**

Ensayos de coloración de isotónicas, tónicas y vinos con el extracto de C-ficocianina

A título de ejemplo, la Figura 3 (izquierda) muestra los resultados obtenidos al realizar la curva de coloración de la tónica Nordic Original para intentar reproducir el color de la tónica Nordic Blue. Tal y como se puede observar, se consigue alcanzar un valor de variación de color menor a 2 unidades CIELAB. Esto implica la obtención de un color prácticamente idéntico al del patrón comercial generado con colorantes sintéticos, como se ve en la Figura 3 (derecha).

Ensayos de estabilidad frente al tiempo y luz de isotónicas aditivadas con el extracto de C-ficocianina

Tras el sometimiento de las muestras de bebidas isotónicas a radiación de luz ultravioleta en el interior de una cabina, se observa que la coloración de estas matrices con C-ficocianina muestra una disminución progresiva del contenido de esta biliproteína cuando se expone a la luz ultravioleta.

Por otro lado, se llevó a cabo el estudio de estabilidad frente al tiempo, mostrando que el extracto colorante de C-ficocianina conserva su color en agua destilada durante el período de análisis de 16 días, mientras que la misma solución colorante en Upgrade Neutral sufre una mayor decoloración.

En cuanto a las bebidas comerciales de referencia, que contienen el colorante alimenticio artificial E133, conservan su color a lo largo de los estudios de tiempo y de estabilidad a la luz, demostrando la fuerte estabilidad de este aditivo sintético.

Este estudio muestra que las condiciones óptimas para la estabilidad de la C-ficocianina consisten en mantener las muestras a temperatura ambiente y evitando la interacción con la luz. Además, también confirma que la mejor matriz para la adición de extracto colorante de C-ficocianina es el agua destilada.

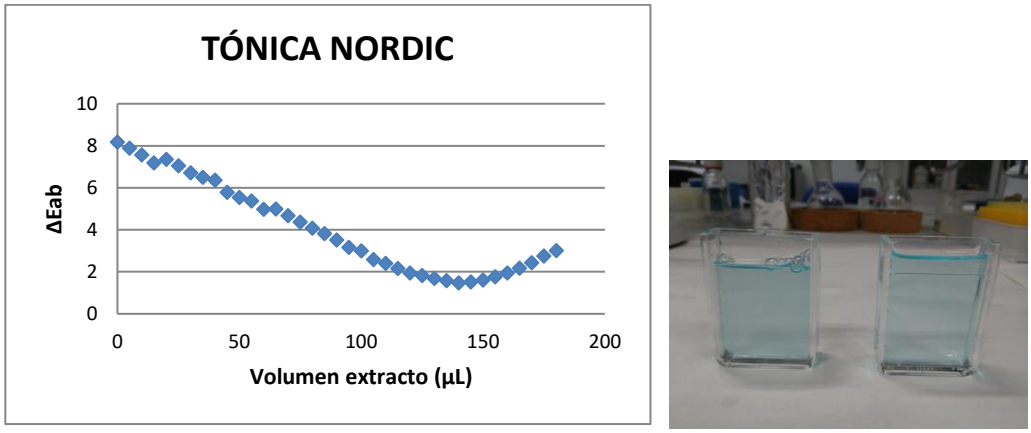


Figura 3.- Izquierda: Ensayo de colorimetría de Tónica Nordic con el extracto de C-ficocianina. Derecha: Foto comparativa de la muestra generada con el colorante natural (a la izquierda) y el patrón comercial al final del ensayo (a la derecha)

4. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que tanto el extracto de B-ficoeritrina como el de C-ficocianina, permiten reproducir en todos los casos un color muy similar a los que actualmente se comercializan, pudiendo por tanto ser aceptado por parte de los consumidores.

Los estudios de estabilidad demuestran que las propiedades fisicoquímicas de la C-ficocianina se ven afectadas por parámetros como el tiempo y la luz, y que la estabilidad de la proteína está fuertemente influenciada por la matriz a la que se añade.

Estos resultados muestran los extractos de biliproteínas como una potencial vía alternativa de coloración con una serie de ventajas como su abundancia en los organismos de los que proceden, su elevada capacidad de coloración y la posibilidad de sustitución de colorantes sintéticos actualmente utilizados por otros de origen natural.

5. Referencias

Bermejo, R. (2008). *Enfasis Alimentación*, 1, 64-68.

Bermejo, R. (2009). *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 239, 41-45.

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.

Bermejo, R., & Ramos, A. (2012). Pilot scale recovery of phycocyanin from Spirulina platensis using expanded bed adsorption chromatography. *Chromatographia*, *75*(5-6), 195-204.

Delgado-Vargas, F., & Paredes-Lopez, O. (2002). *Natural colorants for food and nutraceutical uses*. CRC press.

Ramos, A., Acien, F. G., Fernandez-Sevilla, J. M., Gonzalez, C. V., & Bermejo, R. (2011). Development of a process for large-scale purification of C-phycocyanin from Synechocystis aquatilis using expanded bed adsorption chromatography. *Journal of Chromatography B*, *879*(7-8), 511-519.

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.

Evaluación de los cambios de color inducidos por consolidantes sobre pinturas al fresco de procedencia romana, tardoantigua, emiral y califal

Francisco José Collado-Montero[1*], Teresa López Martínez[1] y Víctor Jesús Medina Flórez [1]

[1]*Departameno de Pintura. Universidad de Granada. Facultad de Bellas Artes. Edif. Conservación y Restauración, Avda. Andalucía, 38, 18071-Granada*

http://pintura.ugr.es/

1. Introducción y objetivos

Los trabajos orientados a determinar la efectividad y comportamiento de consolidantes sobre materiales pétreos y morteros es abundante aunque en menor medida aquellos orientados a valorar los cambios cromáticos que dichos productos provocan en el color de revestimientos policromados[1][2]. El objetivo de este estudio ha sido evaluar la incidencia de diferentes tipos de consolidantes en el color de una serie de muestras de pintura al fresco de origen arqueológico de diversa procedencia, relacionando los cambios cromáticos con su posible causas y proponer el poducto más idóneo según su comportamiento colorimétrico. Dichas muestras corresponden a pinturas murales de épocas romana y tardoantigua, procedentes del Conjunto Arqueológico de Cástulo (Jaén) y revestimientos de épocas romana, emiral y califal, procedentes de la localidad de Córdoba (excavaciones del Parque Infantil de Tráfico, Miraflores y Hospital Reina Sofía, respectivamente). En todos los casos, se trata de pinturas ejecutadas al fresco sobre morteros de cal, con algunas diferencias entre sí: de este modo, en los revestimientos de época romana se distinguen tres estratos de mortero, mientras que en los de épocas tardoantigua, emiral y califal sólo uno. Asimismo, mientras que los revestimientos de épocas romana y califal presentan policromía roja y superficie espatulada, los de épocas tardoantigua y emiral muestran una capa pictórica más rugosa y deteriorada, cuya policromía varía siendo el blanco y el amarillo los colores principales. Con relación al estado de conservación todos los fragmentos sufrían pulverulencia de la capa pictórica, más severa en los revestimientos romanos castulonenses que en los romanos cordobeses. Igualmente, los revestimientos romanos de Cástulo y los de época califal presentaban, en su superficie, restos de concreciones de carbonatos.

2. Materiales y métodos

La metodología empleada se ha basado en las siguientes actuaciones: a) Selección de 25 fragmentos descontextualizados de pintura mural al fresco (de los 5 períodos citados) y 43 muestras de color: rojas (Cástulo-Romano –CAR–: 7; Cástulo-Tardo antiguo –CAT–: 7; Córdoba-Romano –COR–: 7; Córdoba-Emiral –COE–: 7; Córdoba-Califal –COC–: 7), blancas (CAR: 2; COC: 4), amarillas verdosas (CAR: 2). b) Limpieza mecánica de los fragmentos para la eliminación de las concreciones terrosas que presentaban en la capa pictórica (limpieza parcial en los fragmentos CAR y COC). c) Aplicación de 5 consolidantes: carbonatogenesis bacteriana (CB)[3], consolidante acrílico (CA, Paraloid® B-72), silicato de etilo (SE, Estel 1000)[4], nano silicato (NS, Nano Estel) y nano cal (NC, Nanorestore®)[5] y d) Medida instrumental del color de las 43 muestras cromáticas: 4 medidas x muestra. Se ha analizado la variabilidad del color de las muestras *–MCDM–* así como las diferencias de color registradas antes y después del tratamiento de consolidación a fin de poder relacionar estos parámetros con los efectos que los diferentes tratamientos aplicados provocan en el color. El equipo empleado ha sido un espectrofotómetro Konica-Minolta CM-2600d, de acuerdo con las siguientes condiciones de medición: geometría de iluminación difusa y detección a 8°, componente especular excluido (SCE), área de medida: 3 mm; iluminación con UV 0%; iluminante estándar CIE D65 y observador colorimétrico estándar CIE 1964. Los valores de color se han determinado de acuerdo con el espacio de color CIELAB[6]. Este espacio permite calcular las coordenadas cartesianas CIELAB (L^*_{10}, a^*_{10} y b^*_{10}), así como las

* *e-mail*: *fcollado@ugr.es*

correspondientes coordenadas cilíndricas, que denominados claridad, L^*_{10}, croma, $C^*_{ab,\,10}$, y ángulo de tono, $h_{ab,\,10}$. Asimismo, se han calculado las diferencias de color según la fórmula de diferencia de color CIELAB: $\Delta E^*_{ab,10}$ (diferencia de color total), que también puede expresarse como diferencias de claridad (ΔL^*_{10}), croma ($\Delta C^*_{ab,10}$) y tono ($\Delta H^*_{ab,10}$) [7]. Para determinar la variabilidad del color se ha empleado el valor *MCDM* (en inglés "*Mean Color Difference from the Mean*" o "diferencia de color promedio respecto del promedio") en unidades CIELAB, según la siguiente ecuación:

$$MCDM = \left(\frac{1}{N}\right)\sum_{i=1}^{N}\left[\left(L_i^* - \overline{L^*}\right)^2 + \left(a_i^* - \overline{a^*}\right)^2 + \left(b_i^* - \overline{b^*}\right)^2\right]^{1/2} \quad (1)$$

donde los subíndices "i" representan las coordenadas de color de cada una de las *N* medidas y las barras superiores sus correspondientes valores medios. La *MCDM* nos permite representar mediante un número único la dispersión de las tres coordenadas CIELAB y, por tanto, evaluar la variabilidad (heterogeneidad) de los colores: cuanto más alto es el valor de la MCDM mayor es la variabilidad del color (y a la inversa).

3. Resultados y discusión

Atendiendo a la variabilidad del color (*MCDM*) de las muestras, en conjunto, sin consolidar, comprobamos que su valor (2.3±1.2) es muy similar (aunque ligeramente superior) al valor de las mismas tras los tratamientos (2.1±1.2), lo que nos indicaría que la consolidación no introduciría heterogeneidades en el color sino que más bien lo homogeneizaría, aunque mínimamente. Si nos fijamos en los valores *MCDM* de las muestras de cada procedencia-período sin consolidar y consolidadas, se observa que el tratamiento de consolidación incrementa la variabilidad del color en algunas (CAT, COR y COE) y la reduce en otras (CAR y COC), pero mínimamente (con diferencias ≤ 0.4); en este caso, la reducción podría deberse a las concreciones que se indicaban anteriormente y que estaban presentes en las capas pictóricas de CAR y COC, que resultan menos evidentes tras la aplicación del tratamiento. Teniendo en cuenta el tipo de consolidante, la mayor variabilidad se registra en las muestras tratadas con nano cal (2.4±1.1) y la menor en las consolidadas con nano silicato (1.5±0.2), lo que se debería a la diferente interacción del consolidante con el revestimiento (también aquí las diferencias < 1). Posteriormente se ha estudiado la diferencia de color CIELAB ($\Delta E^*_{ab,10}$) de las muestras, antes y después de la aplicación del tratamiento, atendiendo a dos criterios: producto consolidante y lugar-período al que corresponden las muestras (Figura 1). También se ha analizado, de modo desglosado, las diferencias de claridad, croma y tono CIELAB (ΔL^*_{10}, $\Delta C^*_{ab,10}$ y ($\Delta H^*_{ab,10}$, respectivamente) en función de los mismos criterios –consolidante y lugar-período– (Figura 2).

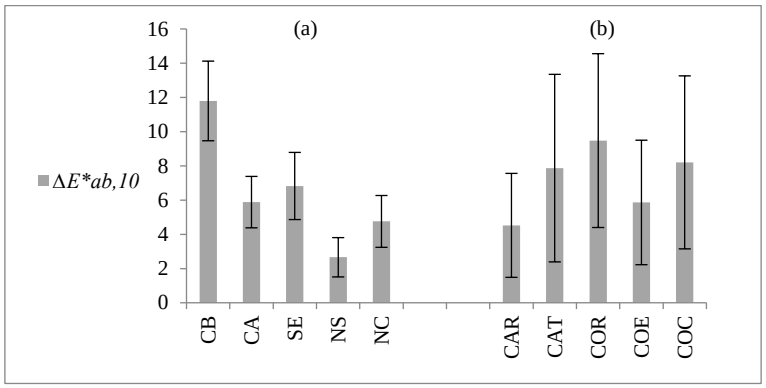


Figura 1. Valores promedio y desviación estándar (barras de error) de las diferencias de color CIELAB ($\Delta E^*_{ab,10}$) entre las muestras sin consolidar y consolidadas según (a) el producto consolidante (CB, CA, SE, NS y NC) y (b) la procedencia-período de las muestras (CAR, CAT, COR, COE y COC).

La Figura 1 indica que todas las muestras tras la aplicación de los productos consolidantes han sufrido cambios de color ($\Delta E^*_{ab,10}$) claramente perceptibles –valores de diferencia de color en torno a 1.0 son perceptibles por personas con visión normal del color[8]–. De acuerdo con el producto consolidante (a) la mayor diferencia de color promedio se registra en las muestras tratadas con CB (11.8±2.3) y la menor en las consolidadas con NS (2.7±1.1). Ello se podría poner en relación con el procedimiento de aplicación que en la CB se realiza mediante nebulización del cultivo hasta saturación de la capa pictórica, durante

siete días consecutivos, mientras que el NS se aplica mediante impregnación con pincel durante tres días consecutivos, por lo que el aporte de agua que reciben tanto la capa pictórica y el mortero es mayor en el primer caso. Atendiendo a la procedencia-período de las muestras (b), el valor más alto de diferencia de color promedio aparece en la serie de muestras COR (9.5±5.1) y el más bajo en las muestras CAR (4.5±3.0). En las pruebas de solubilidad realizadas, los revestimientos COR eran los que menos pulverulencia inicial presentaban, al contrario de lo que sucedía con los CAR, por lo que se podría relacionar una mayor cohesión de la pintura con una mayor diferencia de color, posiblemente porque el consolidante, en este caso, ha penetrado menos, quedando más superficial, al ser más coherente la película cromática.

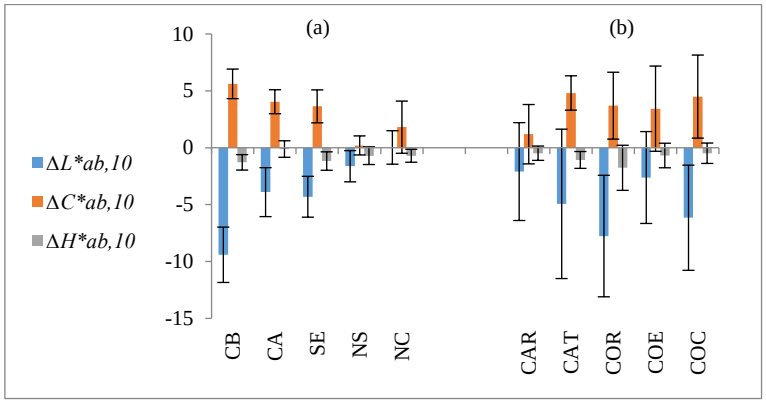


Figura 2. Valores promedio y desviación estándar (barras de error) de las diferencias de claridad (ΔL^*_{10}), croma ($\Delta C^*_{ab,10}$) y tono ($\Delta H^*_{ab,10}$) CIELAB entre las muestras sin consolidar y consolidadas según (a) el producto consolidante (CB, CA, SE, NS y NC) y (b) la procedencia-período de las muestras (CAR, CAT, COR, COE y COC).

En la Figura 2 comprobamos que los valores promedio de diferencia de claridad CIELAB (ΔL^*_{10}), según el producto consolidante (a) son negativos en todos los casos, excepto en NC, donde es =0.0, con el módulo más alto en CB (-9.4±2.4), lo que indica que todos los consolidantes, excepto NC, provocan un oscurecimiento de la muestra, mínimo en NS (-1.6±1.4). Lo mismo ocurre si atendemos a la procedencia-período (b), con valores negativos de ΔL^*_{10}, siendo las COR las que registran el valor absoluto más alto (-7.8±5.3) y las CAR el más bajo (-2.1±4.3). Los valores promedio de diferencia de croma CIELAB ($\Delta C^*_{ab,10}$), según el producto consolidante (a), son positivos en todos los casos, desde la CB (5.6±1.3) hasta el NS (0.2±0.8), lo que significa que el tratamiento provoca un incremento del colorido o pureza del color al impregnar la superficie. Lo mismo sucede según la procedencia-período (b), registrándose el valor más alto en las muestras CAT (4.8±1.5) y el más bajo CAR (1.2±2.6). Por último, con relación a la diferencia de tono ($\Delta H^*_{ab,10}$), se comprueba que es el parámetro que menos cambios sufre al aplicar los consolidantes, tanto si tenemos en cuenta los consolidantes (a) como la procedencia-período de las muestras (b), con valores medios negativos en todos los casos: en (a) el valor absoluto más alto se registra en las muestras CB (-1.3±0.7) y el más bajo en CA (-0.1±0.7); en (b) el valor absoluto más alto lo ofrecen las muestras COR (-1.8±2.0) y el más bajo las CAR (-0.5±0.6) y COE (-0.5±0.9). Ello indica que el viraje de un tono a otro es mínimo, por lo que los rojos, blancos o amarillentos siguen teniendo un tono muy similar tras la aplicación del tratamiento. Los valores medios negativos indicarían, en este sentido que los tonos rojos, blancos (en realidad, amarillentos) y amarillentos verdosos se vuelven ligeramente más rojos.
A partir de lo dicho, si asignamos un porcentaje (%) a cada uno de los valores de diferencia de claridad, croma y tono, tanto en las muestras organizadas por consolidante (a) como en las ordenadas por procedencia-período (b), el parámetro que más contribuye al cambio de color es la diferencia de claridad: $\%\Delta L^*_{10}$ = 55.2 tanto en (a) como (b). El parámetro que contribuye en menor medida al cambio cromático, como se ha indicado, es la diferencia de tono: $\%\Delta H^*_{ab,10}$ = 5.2 en (a) y $\%\Delta H^*_{ab,10}$ = 4.7 en (b).

4. Conclusiones

La aplicación de los consolidantes no modifica prácticamente nada la homogeneidad o heterogeneidad del color, como confirman los valores de MCDM de las muestras antes de consolidar (2.3±1.2) y después de hacerlo (2.1±1.2).

La extensión de los consolidantes provoca siempre cambios de color perceptibles (al registrar valores

de diferencia de color CIELAB superiores a 1.0, aproximadamente), que afectan sobre todo a la claridad, oscureciendo las muestras, que también experimentan un cierto incremento de la intensidad del color (aumento del croma). La diferencia de tono adquiere, en todos los casos, los valores absolutos más bajos, lo que indica que el tono cambia muy ligeramente (con un cierto viraje hacia el rojo).

El consolidante que mayores cambios de color introduce es la carbonatogenesis bacteriana (CB), y el que menos el nano silicato (NS), seguido de la nano cal (NC), lo que nos permite concluir, desde el punto estrictamente colorimétrico, que el nano silicato sería el producto más idóneo, seguido de la nano cal. Ello se explicaría por el modo de interactuar el consolidante con el material original, teniendo en cuenta el procedimiento de aplicación utilizado y tamaño nanométrico de la partículas de estos productos, que habría que considerar un factor favorable para evitar cambios cromáticos. Las diferencias de color registradas atendiendo a la procedencia-período habría que asociarlas no tanto a caracterización material de las pinturas cuanto a su estado de conservación, en el que una mayor degradación (descohesión, pulverulencia) podría incrementar la penetración del consolidante el cual modificaría, por tanto, menos el color que en revestimientos mejor conservados en donde el producto de tratamiento quedaría depositado más superficialmente.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en el marco del Proyecto de Investigación HAR2015-66139-P y por una beca de Formación del Profesorado Universitario (FPU) del Ministerio de Educación y Formación Profesional. Igualmente, expresamos nuestro agradecimiento a D. Marcelo Castro, director del Conjunto Arqueológico de Cástulo, y a D. Juan F. Murillo, director de la Oficina de Arqueología de la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Córdoba.

Bibliografía

[1] F.J. Collado-Montero, A.I. Calero-Castillo, A.C. Coba-Peña, V.J. Medina Flórez, V.J., "Colorimetric evaluation in treatment of protection and consolidation. Applications to Courtyard of the Maidens.Royal Alcazar of Seville", Óptica Pura y Aplicada, 49(1), pp. 29-50 (2016).

[2] F.J. Collado-Montero, A.I. Calero-Castillo, M. Melgosa y V.J. Medina, Colorimetric evaluation of pictorial coatings in conservation of plasterworks from the islamic tradition, *Studies in conservation*, 64(2), pp. 90–100 (2019).

[3] M. González-Muñoz, F. Jroundi, A. García Bueno, B. Martín Peinado y C. Rodríguez-Navarro, "Bioconsolidación de materiales pétreos y ornamentales mediante carbonatogénesis bacteriana" en AAVV, *La ciencia y el arte V. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*, Madrid, Instituto del Patrimonio Cultural de España, pp. 71-80 (2015).

[4] M. Moreno Cifuentes, "La consolidación de revestimientos murales en yacimientos arqueológicos", en J. Barberó Encinas (ed.), *Actas del Seminario Internacional sobre la Consolidación de pinturas murales. Aguilar de Campoo*, pp. 53-75 (1998).

[5] L. Dei, B. Radicati, B. Salvadori, "Sperimentazione di un consolidante a base di idrossido di calcio nanofasico sugli affreschi della cappella del podestà al museo del Bargello a firenze aspetti chimco fisici e prove di colore", *Atti del Convegno di Bressanone*, pp. 293-302 (2005).

[6] International Organization for Standardization (ISO). *Colorimetry - Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space*. ISO 11664-4:2008(E) (CIE S 014-4/E:2007).

[7] International Commission on Illumination (CIE). *Publication 15:2004. Colorimetry, 3th Edition* (CIE Central Bureau, Vienna, 2004) (CIE15:2004).

[8] M. Melgosa, E. Hita, J. Romero, and L. Jiménez del Barco. "Some Classical Color Differences Calculated with New Formulas." Journal of the Optical Society of America. A 9: 1247–1253 (1992).

Mejoras metodológicas para la conservación del color en limpiezas y desacidificaciones de documentos gráficos con tintas solubles

Elena Esteban Garrido[1], Ana López Montes[1*], Francisco J. Collado-Montero[1], y Rosario Blanc García[2]

[1]Dpto. Pintura. Facultad de Bellas Artes. Avd. Andalucía s/n Universidad de Granada E-18071

[2]Dpto. Química Analítica. Facultad de Ciencias. Avd. Fuentenueva s/n Universidad de Granada E-28071

http://www.cienciayculturaescrita.com

1. Introducción

La limpieza y la desacidificación son tratamientos comunes en la conservación y restauración de bienes culturales con soporte de papel puesto que mejoran la apariencia estética de la obra además de ser capaces de neutralizar los productos de degradación. Para la aplicación de dichos tratamientos, dentro del ámbito del documento gráfico y el material de archivo, son muy frecuentes los procedimientos por disolución mediante inmersión y por capilaridad en los cuales los productos preferidos por los profesionales suelen ser los sistemas acuosos que, en el caso de la desacidificación, incluyen también solutos de diferente naturaleza.

Los procedimientos acuosos que emplean como disolvente principal el agua se caracterizan por su baja toxicidad y por su elevada efectividad ante productos de degradación hidrófilos. No obstante, cuando se aplican a la obra de forma generalizada pueden provocar daños graves como sangrados y solubilizaciones de las tintas que constituyen el documento debido a la propia composición química de las mismas. También pueden afectar al estado de conservación de los pigmentos y aglutinantes que aun siendo hidrófobos pueden encontrarse disgregados o pulverulentos, provocando su pérdida por la acción mecánica del disolvente.

Debido al riesgo que conllevan los procesos de lavado y desacidificación mediante medios acuosos en documentos sensibles a la humedad, estos procedimientos suelen ser sustituidos por otros que, en ocasiones, resultan menos efectivos, o que de serlo, repercuten negativamente en la salud del profesional que tiene que decantarse por el uso de disolventes orgánicos de mayor toxicidad e inflamabilidad. Ejemplo de ello son las limpiezas mecánicas y superficiales para mejorar el aspecto estético y eliminar las sustancias perjudiciales a corto o largo plazo que, en la mayoría de los casos, suelen resultar insuficientes; así como los procedimientos de desacidificación con hidróxido de bario o productos comerciales como Bookkeeper® que incluyen alcoholes y fluorocarburos muy tóxicos.

Ante esta problemática y siendo conscientes de las ventajas que presentan los métodos de limpieza por capilaridad que se vienen empleando en los últimos tiempos [1] el objetivo principal que se planteó fue mejorar del sistema de limpieza diseñado por Peter Zajicek y Derek Tinwell en 1993 para que pudiera ser además adaptado para aplicar de manera simultánea un tratamiento de desacidificación y corrección de las deformaciones del soporte sin alterar el color de las tintas.

2. Metodología

El punto de partida de este trabajo reside en la unidad de tratamiento capilar diseñada por Peter Zajicek y Derek Tinwell en 1993 (Chantry, 1993); citado en Schalkx y col., (2011), basada en la teoría de los vasos comunicantes y el efecto sifón, para el lavado de obras con técnicas especialmente solubles en agua y los posteriores estudios propuesto por H. Schalkx y col. en su artículo “Aqueous Treatment of Water-Sensitive Paper Objects” y los estudios llevados a cabo por Cristina Kirchner para la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia, Alemania [1, 2].

* *e-mail*: alopezmontes@ugr.es

La investigación fue desarrollada en 3 fases bien diferenciadas.

Fase 1: Elaboración de un prototipo a partir del sistema diseñado por Peter Zajicek y Derek Tinwell para evaluar su idoneidad sobre dos tipos de muestras: un primer grupo, formado por muestras elaboradas en papel de pasta de madera, envejecido de forma natural (grupo: A) (Fig. 1) ; y un segundo grupo compuesto por muestras en papel de pasta de algodón de alta calidad, sin envejecer, sobre los que se aplicaron acuarela, tinta china y gouache por su especial sensibilidad al medio acuoso, con una selección de los colorantes y pigmentos más habituales (grupo: B) (Fig 1).

Fase 2: Introducción de las variaciones pertinentes sobre cada uno de los parámetros para efectuar una valoración pormenorizada de los efectos que provocan sobre las tintas y su soporte. Los parámetros optimizados fueron: la humectación del documento, el material del cobertor de la unidad, el aporte de humedad al sistema, la solución limpiadora, el material del soporte del sistema, la presión a aplicar y el tiempo de actuación. El protocolo de valoración de los resultados consistió en un primer examen *a visú*; un segundo examen mediante cuentahílos y microscopio óptico por comparación de patrones, en los casos en los que la información visual resultaba insuficiente para detectar variaciones o daños en la superficie de la muestra; posteriormente, un estudio colorimétrico con el que se perseguía aportar información detallada sobre las posibles variaciones de color según la fórmula de diferencia de color CIELAB ($\Delta E^*_{ab,10}$, ΔL^*_{10}, $\Delta C^*_{ab,10}$, $\Delta H^*_{ab,10}$). Asimismo se examinó el soporte mediante luz rasante y, finalmente, se estudian las variaciones de pH para controlar el nivel de acidez del documento antes y después del lavado a través de un pHmetro de contacto.

Fase 3: Empleo del prototipo optimizado para comprobar su efectividad como técnica de desacidificación en muestras elaboradas en papel de pasta de algodón y acuarela acidificadas de forma artificial (grupo: C) (Fig. 1). Para determinar los resultados se realizaron mediciones de pH en superficie, previamente y posteriormente al tratamiento.



Grupo A **Grupo B** **Grupo C**

Figura 1: Diferentes grupos de muestras para la evaluación de los efectos del sistema de limpieza en los materiales colorantes y en el soporte de los mismos.

3. Resultados y discusión

La mejora del prototipo de la unidad capilar se realizó de manera consecutiva con la optimización simultánea de las variables que estaban más asociadas empleando las muestras del grupo A y B.

Al finalizar las dos primeras fases de trabajo se obtuvo el prototipo 3 (Fig 2) donde se sustituyó la base acrílica por una superficie de cristal y el depósito inicial con agua limpia se redujo, ya que no era necesario que el agua estuviera bajo toda la superficie del documento. Con este sistema se pretendía obtener una superficie libre de irregularidades, asegurar el contacto directo del documento al Sontara®, evitar la evaporación y ajustar la cantidad de agua necesaria para el lavado.

En este caso, los resultados fueron mucho más satisfactorios. Además, se consiguió mejorar el sistema añadiendo peso a la cubierta de cristal y evitando la humectación previa del documento, ya que el contacto directo forzado por las capas de cristal ayudó a la humectación natural y progresiva del mismo

sin necesidad de hacerlo con anterioridad de forma artificial, evitando, así, que se produjera el sangrado de las tintas. Por último, se optimizó el tiempo de lavado y la temperatura del agua.

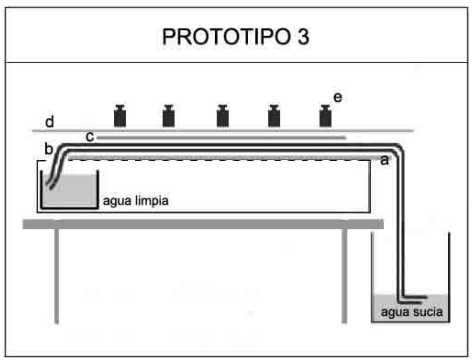


Figura 2: Esquema del Prototipo 3 del sistema de limpieza por capilaridad: a) Soporte de cristal; b) 2 capas Sontara®; c) documento; d) cubierta de cristal; e) peso controlado y homogéneo.

La evaluación del sistema en cuanto a la conservacion del color se realizó mediante análisis colorimétrico. Se pudo detectar que el mayor incremento de la claridad se registra en las zonas más amarillentas del papel, con una disminución pequeña, generalizada, del croma, en tanto que el tono no sufre variaciones apreciables. De este modo, los datos colorimétricos revelan que el lavado ha producido, en muchos casos, un ligero efecto de blanqueo o limpieza del papel, que puede ser positivo.

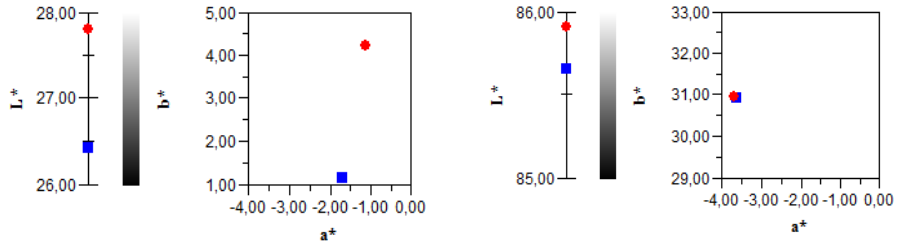


Figura 22. Muestra A-5 (tinta).Valores máximos (gráfico izquierda) y mínimos (gráfico derecha) (punto rojo: pre-lavado, cuadrado azul: post-lavado).

Para el ensayo de desacidificación de las muestras se empleó el prototipo desarrollado junto con las muestras del grupo C. Las disoluciones empleadas para el estudio de desacidificación fueron a) agua corriente de Granada que posee un pH de 7,40 y contiene 180-250 mg/l de $CaCO_3$; b) $Ca(CO_3H)$ y c) $NaBH_4$.

Las mediciones de pH en distintos puntos de las muestras mostraron grandes variaciones de homogeneidad en la desacidificación según el producto empleado. La Figura 3 recoge un mapa esquemático sobre el comportamiento de los productos desacidificantes. En el caso del agua corriente, todas las mediciones de pH posteriores al tratamiento se encuentran en torno a 6 y la desacidificación se produce de forma homogénea.

En el caso del $Ca(CO_3H)_2$, las mediciones son muy dispares. La hipótesis que se maneja es que el $Ca(CO_3H)_2$ depositado en el primer recipiente del sistema, comienza a transformarse rápidamente en $CaCO_3$, liberando CO_2 al ambiente, por lo que disminuye la cantidad de reactivo que realmente actúa. Por ello inicialmente el carbonato (CO_3^{-2}) aumenta el pH pero va perdiendo eficacia.

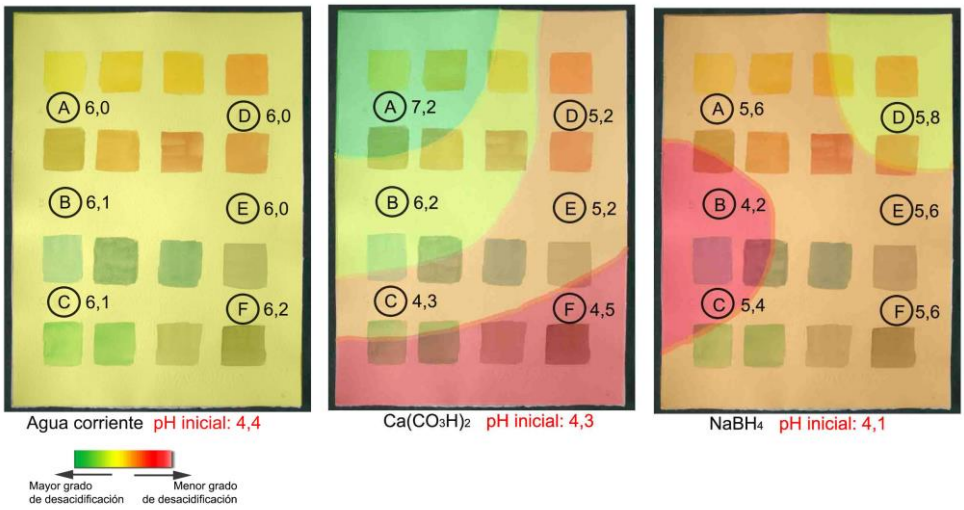


Figura 3: Esquema realizado a partir de los valores de pH obtenidos en los puntos A, B, C, D, E, F de las muestras envejecidas artificialmente y desacidificadas en el prototipo 3 de la unidad de limpieza por capilaridad.

En el caso de $NaBH_4$, la desacidificación se produce de forma más homogénea que respecto al caso anterior. Esta disolución aumenta el pH del papel pero no por igual en todas las zonas.

Por su parte, las tintas no presentaron ningún tipo de sangrado ni solubilización que pudieran contraindicar estos tratamientos. Otro aspecto positivo con respecto a los tratamientos tradicionales de desacidificación por inmersión es que no se formaron cristalizaciones sobre las tintas ni sobre el papel que desvirtuaran la estética del documento**.**

4. Conclusiones

Se ha conseguido mejorar la unidad de limpieza capilar y adaptarla para la desacidificación simultanea de los documentos con tintas altamente sensibles a la humedad.

En cuanto a la limpieza se ha demostrado que los documentos con tintas solubles al agua también pueden someterse a tratamientos acuosos para la remoción de suciedad soluble a este medio. Tanto la acuarela como la tinta china diluida son capaces de soportar un ciclo de 3h de lavado mediante este sistema sin sufrir sangrados, solubilizaciones o variaciones de color. Los papeles tampoco sufren ningún tipo de modificación en el grano ni en la textura.

En cuanto a la desacidificación todos los productos empleados corrigen la acidez del papel en mayor o menor medida. El agua ha sido el disolvente que más se ha aproximado al ideal, logrando aumentar los niveles de pH de un papel ácido a 6 además de conseguir un resultado altamente homogéneo.

Agradecimientos

Esta línea de investigación está incluida en los proyectos MAT2011-26902 y PO8-UM4188. Los autores agradecen también su ayuda al doctor D. Carlos Jiménez.

Bibliografía

[1] Schalky, H. et al. "Aqueous Treatment of Water-Sensitive Paper Objects" en Journal of Paper Conservation. **1**, Vol.12. IADA Reports, p. 11-20 (2011).

[2] Kirchner, S. “Kapillarreinigung. Eine schonende Methode der Feuchtreinigung in der Papierrestaurierung”. En: Papierrestaurierung, **2**, Suppl, p. 73-80. Citado en p.12 H. Schalkx y col. en su artículo Aqueous Treatment of Water-Sensitive Paper Objects (2011).

Estudio de la evolución del color en la obra de Monet en función de la edad y su salud visual

María Isabel Suero López[1*], Ángel Luis Pérez Rodríguez[1], Pedro José Pardo Fernández,[2] y Celia Cuenca Lorenzo[1]

[1]Departameno de Física - Universidad de Extremadura.
Avda. de Elvas s/n 06071 Badajoz

[2]Departamento de Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos – Universidad de Extremadura.
Santa Teresa de Jornet, 38 06800 Mérida

http://grupoorion.unex.es

1. Introducción

La figura del pintor francés Claude Monet es una de las más destacadas de finales del siglo XIX y principios del XX. Fue uno de los creadores del movimiento impresionista, el cual debe su nombre a una obra suya "*Impresión, sol naciente*" como puede verse en la Fig. 1.



Figura 1: Imagen de la obra *Impresión, sol naciente* de 1873 que da el nombre a la corriente pictórica del *impresionismo*.

Dada su relevancia, muchos son los aspectos de su vida profesional y privada que son estudiados y conocidos. Uno de esos aspectos conocidos es el hecho que padeció cataratas severas, lo que le llevó a someterse a una operación quirúrgica para mejorar su agudeza visual, en gran parte mermada. Según un estudio realizado por el profesor Michael Marmor (Universidad de Standford, California) [1], las etapas que atravesó la visión de Monet (1840 – 1926) fueron:

- Antes de 1912: se considera su visión normal
- 1912-1915: catarata moderada. Agudeza visual: 20/50
- 1916-1918: catarata intermedia. Agudeza visual: 20/100
- 1919-1922: catarata grave. Agudeza visual: 20/200
- 1923: se somete a una operación de cataratas

El objetivo de esta comunicación es estudiar la obra pictórica del artista francés, analizando la evolución del color usado en sus pinturas a medida que progresaba el desarrollo de la catarata. Se pretende realizar un análisis colorimétrico básico de un subconjunto de su obra pictórica y estudiar su evolución en función de la edad.

* *e-mail*: suero@unex.es

2. Metodología

Para realizar este trabajo, se analizaron previamente 1341 cuadros de Monet mediante imágenes RGB recogidas en la *Enciclopedia de Artes Visuales WikiArt* [2]. Estas imágenes RGB en formato comprimido JPG no poseen información alguna sobre su captura, por lo que la forma de realizar este estudio con fiabilidad estadística únicamente puede ser mediante el análisis de un gran número de cuadros, con el consiguiente esfuerzo de cómputo al generarse un gran conjunto de datos.

Monet desarrolló el concepto de las *series de pinturas*, en las que un motivo es pintado repetidas veces con distinta iluminación. Esta variabilidad en las condiciones de iluminación podría influir negativamente en los resultados obtenidos en este estudio. Para minimizar los efectos de la variable iluminación, se han escogido obras realizadas con las mismas condiciones de iluminación, evitando aquellas en las que el pintor se alejaba de las condiciones de luz indirecta de mediodía. Se descartaron así todos aquellos cuadros pintados en puestas de sol, con brumas, niebla o iluminación interior. Algunos de los cuadros incluso tenían indicado en su propio título a qué hora del día fueron pintados. Para los que no se sabía la hora, se han seleccionado aquellos con más intensidad en las tonalidades más frías (azules y verdes) y con menos intensidad en las más cálidas (amarillos y rojos), situándonos así en las horas centrales del día. Igualmente, con objeto de minimizar la posible interferencia de la variable escena, se han escogido solamente obras que presentasen motivos con relativa continuidad en el tiempo como el cielo, el agua o vegetación. Así, el análisis colorimétrico podrá centrarse sobre estos motivos y ver cómo van evolucionando en función del estado de la visión del pintor.

De todos los cuadros pintados por Monet, se seleccionó una muestra reducida de 220 pinturas que han sido agrupados en las cinco épocas en las que Marmor dividía la salud visual de Monet y, dentro de cada época, por la escena que representa (cielo, agua o vegetación). Cada título del cuadro se ha precedido del año en el que se pintó la obra. Si su desarrollo duró varios años, se ha escogido el año final para clasificarla; excepto en las obras cuyo periodo de trabajo comprenden años en los que el pintor no estaba operado de cataratas y años en los que sí. Esto se debe a que en estas obras se aprecian deformaciones de formas y colores, de modo que los años iniciales de trabajo fueron determinantes, aunque se terminasen de pintar con la vista operada.

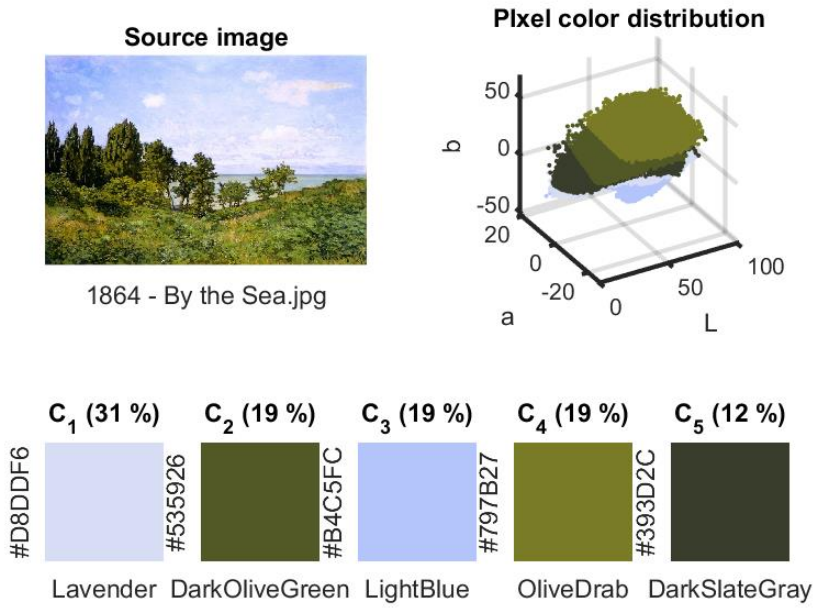


Figura 2: Ejemplo de salida generada por la función de Matlab utilizada para realizar la agrupación de colores mediante el algoritmo *k-means*.

Una vez seleccionadas las imágenes correspondientes a las pinturas objeto de estudio, se ha realizado un estudio de la evolución del color empleado por el pintor en función de su edad. Para ello se han analizado los colores más relevantes de cada obra mediante un sistema de agrupamiento basado en un

algoritmo *k-means,* utilizado ampliamente en minería de datos. Este tipo de algoritmo presenta una rápida convergencia, pero para evitar los mínimos locales, se ha realizado el promedio de 5 ejecuciones en cada caso. Como valores de entrada se le proporcionaron los valores CIE Lab de cada píxel de la imagen (únicamente el plano a*b*, prescindiendo de la luminancia L*) obtenidos a partir de los valores RGB de las imágenes digitales. Para realizar esta transformación se ha supuesto que los valores RGB de todas las imágenes digitales corresponden al espacio de color sRGB, ampliamente utilizado en computación gráfica, y suponiendo que la fuente luminosa era el iluminante D65.

Como resultado, el algoritmo proporcionaba los cinco colores más utilizados por el autor en la pintura, indicando el porcentaje de relevancia y la representación gráfica del análisis del color de la pintura y de los cinco colores seleccionados (Fig. 2).

Posteriormente se realizaba la segmentación de la imagen en función de los colores más utilizados identificados, generando una imagen con cada color, para una más fácil identificación de los colores seleccionados (Fig. 3).

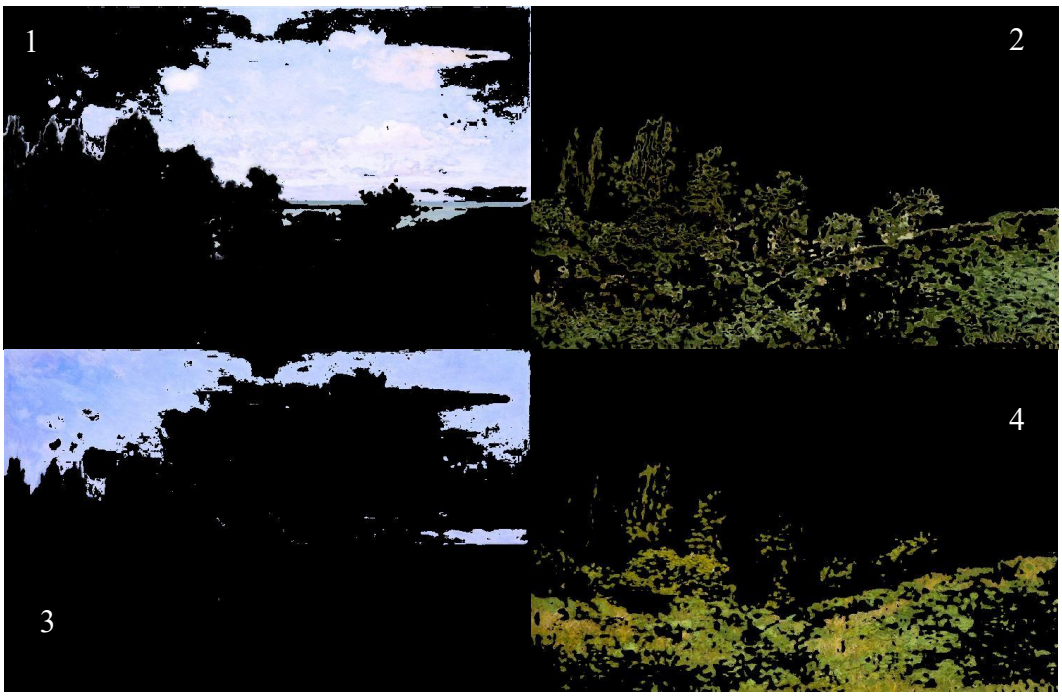


Figura 3: Ejemplo de segmentación de imágenes en función del color para los cuatro colores con mayor representatividad de la Obra *By the sea* de 1864.

Finalmente, se ha hecho una selección de los colores que se han considerado óptimos para el estudio de la evolución de la salud visual de Monet. Por una parte, se han seleccionado los tonos azules, característicos del cielo y del agua, caracterizados mediante su ángulo de tono, que presenten un croma que supere un umbral mínimo en coordenadas Lch y que tengan una representatividad superior al 25%. Por otra parte, se han seleccionado los tonos verdes y los ocres, siguiendo criterios similares. Los detalles de los criterios de selección se pueden ver en la tabla 1.

Color	Angulo de Tono		Croma	Relevancia	Correlación Pearson	
	h mínimo	h máximo	C*	%	r	p-valor
Azul	240	310	10	25	0.57	<0.0001
Verde	89	240	10	25	0.10	0.10
Ocres	0	89	10	25	-0.15	0.15

Tabla 1: Condiciones de contorno de los colores seleccionados

3. Resultados y conclusiones

Monet era un apasionado de la luz y de cómo le afectaba a la naturaleza el paso del tiempo. Es por ello que la mayoría de su obra consiste en repetir un mismo paisaje en diferentes horas del día o épocas del año. Tanto es así, que titula a muchos de sus cuadros describiendo el momento captado. Desde un punto de vista cualitativo, y a simple vista, se puede apreciar un gran cambio pictórico en las obras realizadas con cataratas graves en comparación con las anteriores. Sus cuadros se volvieron oscuros y borrosos. Para compensar la disminución de su capacidad de distinguir colores violetas y azulados, los empezó a aplicar de forma más intensa que en sus trabajos previos. Así, al ver sus cuadros a través de sus cataratas, apreciaba colores similares a los que observaba cuando veía correctamente.

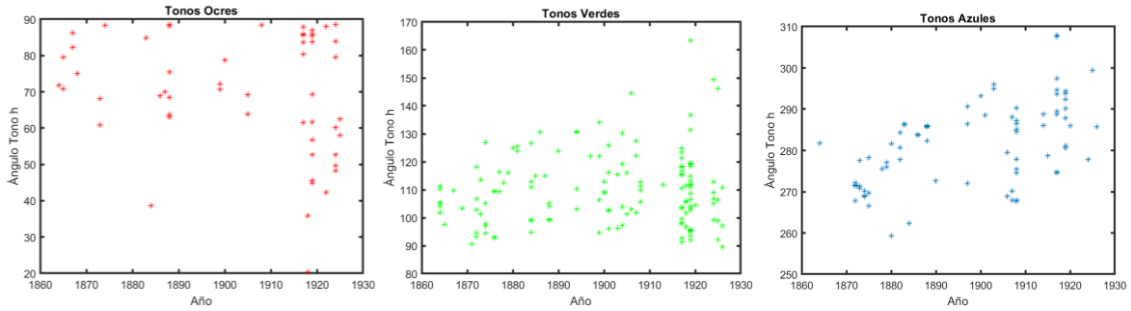


Figura 4: Representación gráfica de la evolución de los colores principales a lo largo del tiempo separados por tonos: ocres (izda), verdes (centro) y azules (drcha.).

Desde un punto de vista cuantitativo, la ejecución del algoritmo *k-means* nos ha permitido determinar los colores principales o más representativos de cada obra para, posteriormente, realizar una correcta segmentación de las mismas en función de esos colores principales. Finalmente, hemos realizado un estudio gráfico (Fig. 4) y un estudio estadístico (Tabla 1) basado en un análisis de correlación de Pearson entre el ángulo de tono de esos colores principales y su evolución en el tiempo, resultando una correlación significativa para el caso de los azules, no siendo así para el caso de los verdes y los ocres. Estos resultados son compatibles con el proceso natural de amarilleo del cristalino del artista con la edad y que desembocó en una catarata severa.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado gracias a la ayuda GR18131 del Gobierno Regional de la Junta de Extremadura, parcialmente financiada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Bibliografía

[1] M. Marmor, “Ophthalmology and Art: Simulation of Monet’s Cataracts and Degas’ Retinal Disease”. Arch Ophthalmol. **124** p.1764 (2006)

[2] Wikiart. Enciclopedia de artes visuals. Claude Monet. [Internet] [Consultado el 14 de mayo de 2019]. Disponible en: https://www.wikiart.org/es/claude-monet/all-works#!#filterName:all-paintings-chronologically,resultType:masonry

La Percepción del Color en los Espacios Arquitectónicos

Pia López-Izquierdo Botin[1*],

Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control. Universidad Politécnica de Madrid. Avenida Juan de Herrera, 4. 28040 Madrid

http://www.upm.es

1. Contexto Teórico de la Investigación: Antecedentes

Cuando el color nos envuelve, cuando el color nos rodea como es el caso del color en la arquitectura, deja de ser una propiedad de las cosas para convertirse en una experiencia donde percepción, cognición y acción, están entrelazadas. Para entender la experiencia perceptiva que tiene lugar, partimos de la tradición Enactiva de la percepción iniciada por Merleau-Ponty [1], ampliada por Varela et Al [2] y posteriormente modificada por Noë [3] en la cual nos apoyamos. Esta experiencia se estructura como un proceso en base a la teoría Cognitiva de la emoción iniciadas por Becks y Ellis [4], y posteriormente ampliado por Brioles [5]. Más la fenomenología específica del color en el espacio, se debe a lo que en Filosofía de la Percepción se entiende como "Penetración Cognitiva de la Percepción" (Dokic) [6] o CogPen, y explica como nuestra percepción es impregnada o coloreada por el trasfondo cognitivo –las creencias-que tenemos sobre el color. Hablamos de las relaciones entre la percepción y la cognición, entre la dimensión sensible y cognitiva de nuestra mente.

Nos apoyaremos en el filósofo Jérôme Dokic y en su seminario sobre la «Représentation située » en el EHESS de Paris, 2012-2013. Empezaremos por el concepto de penetración cognitiva de la percepción, apoyándonos en la naturaleza dual de la arquitectura de la percepción propuesta por J.Dokic; definiremos los contenidos sensoriales de la percepción materializados en sus propiedades visibles; para acabar proponiendo tres casos de esta penetración y sus efectos a nivel de comportamiento en el hombre y dimensionales en el espacio. El objetivo último seria 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 en arquitectura, y un fundamento a la fenomenología y potencialidad del color en el espacio.

2. La Penetración Cognitiva de la Percepción de los Espacios cromáticos Arquitectónicos:

Partimos de la tesis de que los juicios de percepción en los espacios arquitectónicos cromáticos, están cognitivamente penetrados por los estados doxásticos, fundamentalmente por las creencias del trasfondo cognitivo que tenemos sobre el Color. Es decir, que la fenomenología de la experiencia perceptiva puede ser modificada por los estados mentales de nuestro sistema cognitivo.

El filósofo Jérôme Dokic propone una tesis según el cual la fenomenología de la experiencia perceptiva tiene dos componentes: una sensorial y otra sensible, llamada también afectiva. Es esta dimensión afectiva o sensible compuesta por los sentimientos* de presencia, de familiaridad y el mecanismo de la Fluencia o fluidez de los juicios perceptivos, los que se van a ver afectados por las creencias –cromáticas- del trasfondo cognitivo. Esta es la razón que nos lleva a suponer, en principio, que la penetración cognitiva de la percepción en los espacios cromáticos arquitectónicos, y por tanto los juicios de percepción que formamos, están impregnados por las creencias que tenemos sobre los colores a nivel sensible que no sensorial: vemos lo mismo físicamente solo que la percepción esta enriquecida por otras "cualidades". Tal y como veremos

* La palabra original es la inglesa *Feelings*, que tiene no solo la traducción de sentimientos, sino de sensaciones o experimentaciones, que es el pertinente en este contexto. En francés se traduce por la palabra *ressentis*, que está más cerca del significado dual de *feelings*. Hemos decidido traducir esta palabra como *sentimiento*, pero en la versión no de sentir, sino de experimentar, de tener sensaciones

en el cuadro de la arquitectura de la percepción, (figura 1) estos efectos son percibidos o reconocidos por los sentimientos de "Familiaridad y de realidad", llamados en la literatura sentimientos noéticos. Por ejemplo, si vamos a ver un azul "que parece un cielo", vamos a seguir viendo un azul y sobre todo un mismo azul, pero ese azul va a estar enriquecido por la propiedad "parecer un cielo".

3. Las Condiciones de la Penetrabilidad Cognitiva de la Percepción:

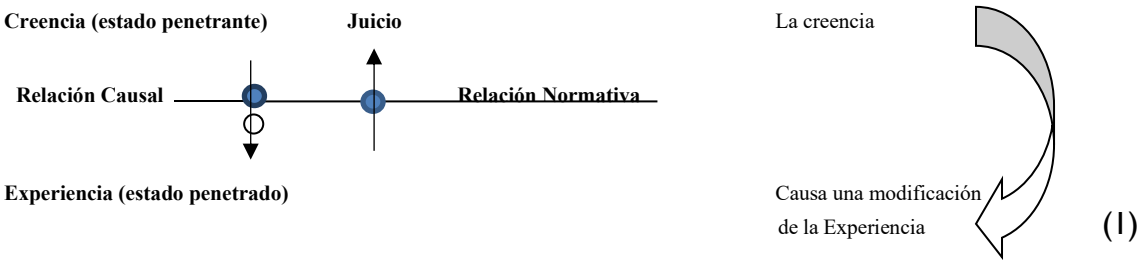
Dustin Stokes [7] afirma en su artículo, «Cognitive Penetrability » que « La percepción esta típicamente diferenciada de la cognición. Por ejemplo, creer es diferente de ver. Si estamos autorizados a decir que lo que vemos influye de manera clara en lo que pensamos, sigue siendo discutible avanzar lo contrario. Es decir, que lo que creemos o pensamos pueda influir de una manera directa y no trivial, sobre lo que vemos". Esta última relación es lo que llamamos penetración cognitiva de la percepción. Hay que tener en cuenta, que como decía Jung, para que exista una relación causal, tiene que haber dos existencias distintas; es necesario que la percepción sea distinta de la creencia y del juicio, y por tanto que haya una causalidad descendente. Por tanto, una posible definición de penetración cognitiva sería:

> *"Una experiencia perceptiva E esta cognitivamente penetrada, si y solo si E es causalmente dependiente de algún estado cognitivo C, y la conexión o ligazón entre E y C, es interna y mental."*

El relatum (penetrado) es la percepción al nivel de la experiencia. Y la relacion causal entre experiencia y cognición es una relación de dependencia*:*

> *"Si C no tiene lugar, (precede a E) entonces E no tendrá lugar".*

Dustin Stokes afirma: «Consecuentemente, el carácter fenoménico de una percepción visual, auditiva, o de otro tipo, depende de una manera no trivial de una creencia del trasfondo cognitivo, de un deseo o de cualquier otro estado cognitivo." esquema (1)



(1)

4. La Naturaleza Dual de la Arquitectura de la Percepción:

Dokic en su seminario sobre la "Représentation Située" (2012) en el EHESS de Paris, propone la tesis de la arquitectura dual de la fenomenología de la percepción, argumentando que tiene una doble componente: la dimensión sensible y la dimensión sensorial, siendo la primera la que puede estar cognitivamente penetrada por las creencias sobre el color. En definitiva, los juicios de percepción estarían compuestos por los siguientes actores, que representamos en la figura (1):

1. Las creencias sobre el color como integrantes del trasfondo cognitivo de lo que en la literatura se denominan Estados Doxásticos.
2. La Fluencia o fluidez de los procesos perceptivos y cognitivos, que representan la inclinación a realizar juicios de presencia y de familiaridad.
3. Una dimensión sensible o afectiva de la experiencia perceptiva constituida por los llamados sentimientos noéticos.
4. En último lugar, la dimensión sensorial de la experiencia perceptiva, constituida por las características básicas en cuanto a forma, color, tamaño, etc.

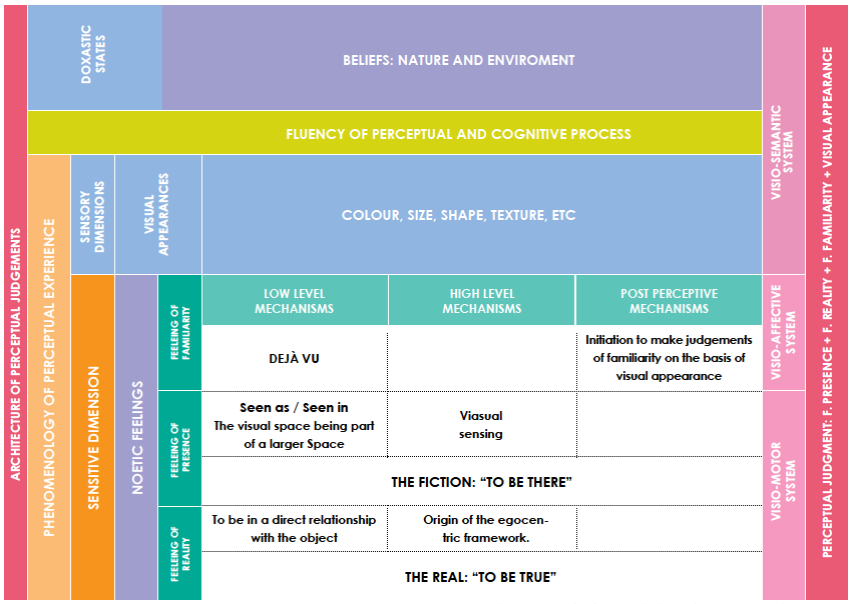


Figura 1: La Arquitectura de los Juicios de Percepción

5. Las Hipótesis de la Investigación:

Primer punto: Las creencias de nuestro trasfondo cognitivo sobre el color, son heredadas en el espacio e impregnan la percepción de tres maneras diferentes:
- Introducen una cualidad "natural o ambiental" en el espacio.
- Como consecuencia, esta cualidad modifica las proporciones físicas y espaciales de la arquitectura.
- Finalmente, estas "modificaciones" provocan un cambio en el comportamiento del hombre al cambiar su entorno físico-ambiental.

Esto quiere decir que los juicios de percepción que realizamos sobre los espacios arquitectónicos, están mediatizados por la transformación que dichos espacios experimentan, debito a la impregnación del contenido de las creencias sobre el color. Fundamentalmente, porque la existencia de estas creencias, implica la presencia de unas cualidades "ambientales", con unas propiedades espaciales asociadas que conducen a una modificación en el comportamiento. Fig. (2)

Por ejemplo, el azul "que parece un cielo", introduce la cualidad "natural de "parecer un cielo", y las cualidades espaciales asociadas a un cielo, de profundidad, ligereza y de ausencia de límites, haciendo que el usuario se relaje y que ande más derecho.

- Segundo punto: Las respuestas desatadas en la experiencia perceptiva, están detectadas por los sentimientos noéticos de bajo y alto nivel, y por la fluencia o fluidez de los juicios de percepción. Son mecanismos que mantienen una cierta independencia entre ellos y la dimensión sensorial de la experiencia perceptiva, pudiendo sufrir modificaciones uno de ellos sin que se altere el otro, tal y como hemos visto en Matthen [8]. Dicho de otra manera, cada color y su situación espacial, provocan unos efectos que son detectados, percibidos, registrados de manera independiente por diferentes actores de nuestra arquitectura perceptiva, desempeñando un papel fundamental los sentimientos de familiaridad y de presencia. En la figura (2), se presenta el color, sus propiedades visibles y visuales y los mecanismos perceptivos que se desatan en la experiencia perceptiva. Presentamos tan solo un ejemplo, el del azul, "*que parece un cielo*", por falta de espacio.

6. La Definición del Contenido Sensorial: Las Propiedades Visibles

Nuestro siguiente objetivo sería determinar los colores cuyas creencias asociadas van a desatar una fenomenología "universal" en los espacios cromáticos, y sus propiedades visibles. Con este fin, hemos recurrido a la Policromía Arquitectónica (1997) de Le Corbusier, para determinar estos colores (Lopez-Izquierdo, [8], que serán el azul, el verde y el marrón. El segundo objetivo consistirá en localizar la propiedad visible

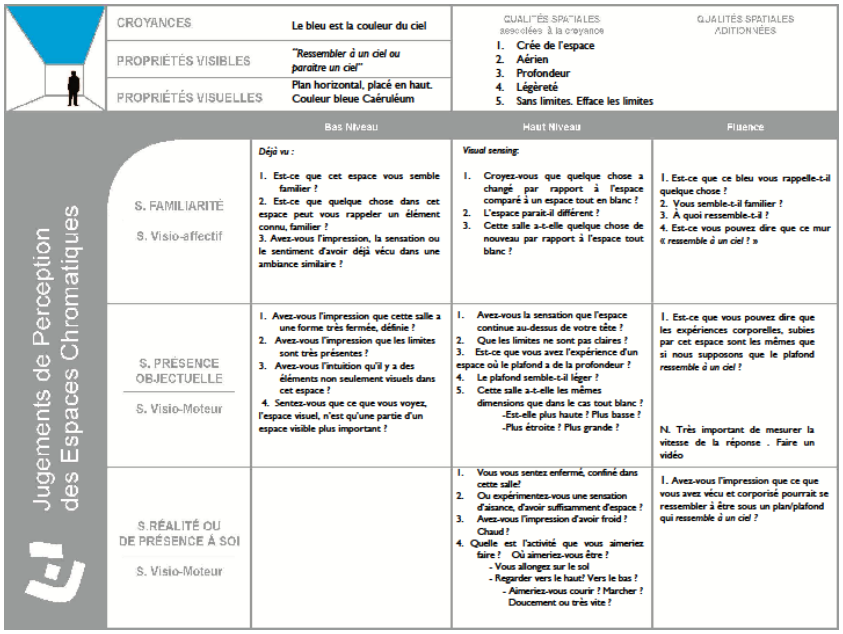


Figura 2: Cuadro del Azul que "parece un cielo".

de cada color que va a satisfacer la Tesis de la «Survenance du Visible sur le Visuel» (Dokic y Martin, 2012).

EL AZUL: 'La creencia: El azul es el color del cielo, o el cielo es azul. La propiedad Visible: «Parecerse al cielo".

Según la tesis de la «Supervención de lo Visible sobre lo Visual», la propiedad del azul de «parecer un cielo» es visible, si un cambio en su situación espacial es detectable visualmente. Y efectivamente lo cumple. Si cambiamos la localización del azul, del techo al suelo, o a los laterales, ese cambio es detectable visualmente.

LOS MARRONES: La creencia: El marrón es el color de la tierra. La Propiedad Visible: será «Parecerse a la tierra»

EL VERDE: La creencia: el verde es el color de la vegetación. La Propiedad Visible: será «Parecerse a la vegetación».

En definitiva, la CogPen en el espacio explica los efectos que ciertos colores provocan en la arquitectura y la influencia cognitiva que ejercen en el hombre, dando lugar a emociones que modificaran su comportamiento. En estas líneas nos hemos limitado a sintéticamente presentar los mecanismos perceptivos, para entender esta fenomenología del color en el espacio construido.

Bibliografa

[1] M. Merleau Ponty. Phénoménologie de la Perception, Paris: Éditions Gallimard, 1945
[2] F.J Varela, E. Thompson and E. Rosch. "De cuerpo presente: Las Ciencias Cognitivas y la Experiencia Humana". Barcelona, Gedisa, 2011.
[3] A. Noë, Action in Perception. Cambridge Massachusetts: MIT Press, 2004.
[4] A. Becks and A Aaron. Cognitive Therapy: Basics and Beyond. 1956
[5] P. Brioles. Seminar "Inteligencia Emocional", University of Alcalá. 2002/2003
[6] J. Dokic, "Seeds of Knowledge: Noetic Feelings and Metacognition", in M. Beran, J. L. Brandl, J. Perner & J. Proust (eds.). Foundations of Metacognition, Oxford, Oxford University Press, 2012, pp. 302-320. "La dualité de la perception", Intellectica 1:43, 2006, p. 67-72
[7] D. Stokes. "Cognitive penetrability of perception," Philosophy Compass 8 (7) 2013:646-663
[8] M. Matthen. « Two Visual Systems and the Feeling of Presence », in N. Gangopadhyay, M. Madary et F. Spicer (eds.), Perception, Action, and Consciousness: Sensorimotor Dynamics and Two Visual Systems, Oxford, Oxford University Press, 2010, p. 108-124, p. 114.
M. Matthen, M. Seeing, Doing, and Knowing, Oxford, Oxford University Press, 2005.

Laboratorio de visión del color para todos

Dolores de Fez[1*], Mª José Luque[2], Mª Carmen García-Domene[2],
Mª Amparo Díez-Ajenjo[2], Vicente J. Camps[1*]

[1]*Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía. Universidad de Alicante*

[2]*Departamento de Óptica. Universidad de Valencia*

https://web.ua.es/es/gopv/

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 (distancia, iluminación, adaptación previa…), diseñar las pautas temporales para las secuencias de presentación de esos estímulos al sujeto etc. [1] La generación de estímulos con las características deseadas depende de una buena caracterización previa de los dispositivos de generación y visualización de los dispositivos (pantallas, láminas impresas, lámparas…). Estos aspectos se tienen en cuenta en los laboratorios de investigación, y, con las limitaciones derivadas del material disponible, también en los laboratorios docentes, pero fuera de ellos es complicado trabajar si no se dispone del software necesario.

Nuestro grupo, formado por un equipo de profesores de las Universidades de Alicante y Valencia, lleva más de 20 años desarrollando software básico en entorno Matlab orientado a la realización de experimentos visuales, con estímulos controlados para realizar experiencias de psicofísica básica y clínica [2-7]. En algunos de los experimentos, el usuario puede controlar ciertos parámetros, mientras que en otros es conveniente utilizar una serie de estímulos ya diseñados, presentados en una secuencia determinada. De esta forma, pretendemos que el usuario se familiarice con los sistemas de representación habituales para manipular las características de un estímulo y que entienda los principios de diseño de distintos tests psicofísicos utilizados en investigación básica del sistema visual y en la práctica clínica.

En los últimos dos años nos hemos planteado un nuevo objetivo: facilitar la realización de los experimentos fuera de un laboratorio docente, desarrollando software que pueda ser usado en cualquier ordenador, sin necesidad de plataformas que requieran ningún tipo de desembolso económico o de conocimientos informáticos avanzados por parte del usuario. Por ello hemos optado por programar los experimentos de forma que puedan compilarse, instalarse y ejecutarse en cualquier ordenador.

Ejecutando nuestro software el alumno puede realizar las prácticas en su propio ordenador, siguiendo tanto las instrucciones que se muestren en cada una de ellas como consultando el guion facilitado en cada una de las sesiones planteadas. En cada guion se recogen las instrucciones y ejercicios/cuestiones que el alumno debe realizar.

Para el profesorado de ciencias de la visión que carezca de los conocimientos informáticos necesarios para fabricar un test a demanda, esta herramienta puede facilitar en gran medida su trabajo. 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.

Para el alumno, el objetivo es facilitarle la comprensión de los contenidos de las asignaturas relacionadas con la visión del color, permitiendo la realización en casa de las prácticas experimentales propuestas por el profesorado. Dichas prácticas pueden sustituir o complementar las actividades

* *e-mail*: dolores.fez@ua.es

presenciales que cada asignatura proponga en su guía docente. También le permitirá realizar experiencias para comprobar algunas propiedades del sistema visual, diseñando sus propios estímulos, apoyándose en los conocimientos impartidos en las asignaturas que curse o como actividades extracurriculares.

Además, creemos que para el público general también puede resultar interesante. Es cierto que estas prácticas necesitan ciertos conocimientos sobre el sistema visual, pero estos podrán adquirirse a partir de la información incluida en el fundamento teórico de cada actividad propuesta, así como en la bibliografía recomendada. El carácter online y la disponibilidad de nuestro software puede fomentar el acercamiento a ciertos conceptos que no tienen por qué estar limitados al ámbito universitario, como ocurre en el autoaprendizaje autónomo.

Hemos seleccionado parte de este software, constituido por aquellos programas que ilustran experimentos "robustos", esto es, razonablemente poco sensibles a los errores de reproducción de los dispositivos, o que ejemplifican procedimientos de cálculo, para diseñar un curso masivo abierto en línea (Massive Online Open Course, MOOC), titulado "Prácticas de Psicofísica y Percepción Visual", incluido en la oferta de docencia on-line de la plataforma Moodle de la Universidad de Alicante [8]. En este curso se proponen diferentes módulos correspondientes a diferentes aspectos de la visión: visión de la luminosidad, visión espacial, visión del color y visión binocular. En esta contribución presentamos la parte de psicofísica visual relacionada con la visión del color.

2. Experimentos de psicofísica visual: visión del color

El curso se estructura en una serie de prácticas experimentales, propuestas para realizar en un máximo de 2 horas cada una de ellas. El módulo de color consta de las siguientes experiencias: Colorímetro visual, Mezclas de color, Anomaloscopio, Procesador de Vídeos, El Test Trivector, Medida de umbrales cromáticos, Simulación del Test D15, Simulación y diagnóstico con el Test FM 100 H, simulación del Test de Roth 28 Hue (ver como ejemplo Fig. 1-3).

Por parte del usuario, solo es necesaria una conexión a internet y su propio ordenador para llevar a cabo las experiencias planteadas. El alumno dispone de material audiovisual online con las indicaciones necesarias para acceder a los materiales y para realizar las experiencias propuestas: videos de explicación del experimento, guiones de cada práctica y el software asociado en formato ejecutable (desarrollado en la plataforma Matlab y compilado para poder ser ejecutado en cualquier ordenador con sistema Windows).

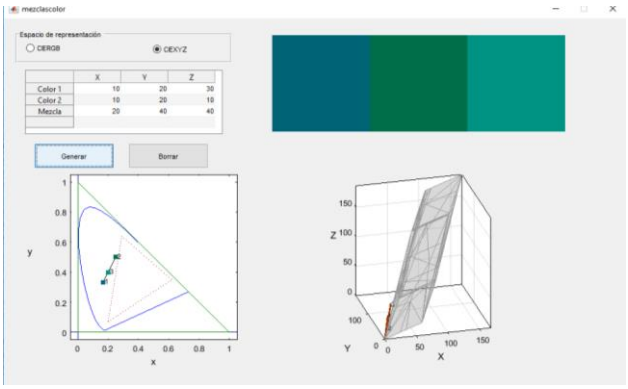


Figura 1: Propiedades de las mezclas de colores.

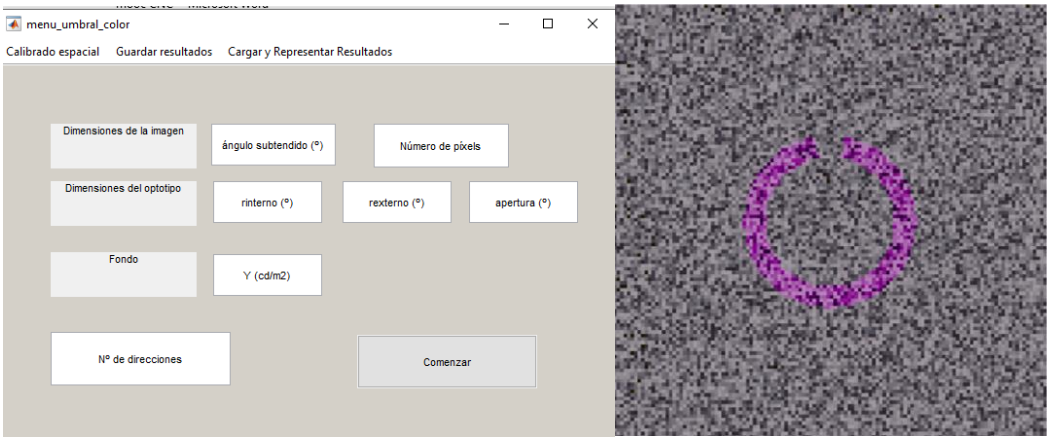


Figura 2: Medida de umbrales cromáticos alrededor de un estímulo acromático.

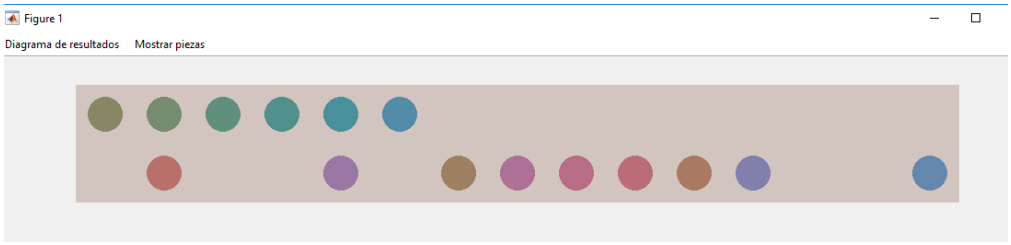


Figura 3: Simulación del test D15.

El archivo ejecutable contiene el acceso vía internet a la página de Mathwoks (https://es.mathworks.com/), donde se procede a descargar el fichero MRCInstaller, un visor libre para cualquier ordenador que no disponga del programa Matlab. Si el ejecutable detecta la presencia de este visor, no es necesaria la reinstalación y se salta este paso. Cabe destacar que, aunque el usuario disponga de una licencia Matlab, no es necesaria para descargar ni para ejecutar nuestro software.

Para cada experiencia el usuario dispone de un guion de prácticas con los siguientes contenidos:

- Introducción, donde se exponen los fundamentos teóricos asociados a los conceptos que se tratan en cada sesión,
- Metodología propuesta, donde se explica el funcionamiento de todas las secciones del software,
- Resultados, donde se piden las representaciones gráficas asociadas a las medidas realizadas, con el fin de comprobar si el comportamiento obtenido corresponde con la normalidad (se facilita también, cuando es posible, una hoja de cálculo con una plantilla para la toma de medidas),
- Cuestiones relativas a los resultados obtenidos, para comprobar el grado de asimilación de los conceptos tratados,
- Bibliografía básica.

Los guiones de prácticas finalizan con un apartado de ejercicios propuestos sobre los contenidos desarrollados: representaciones gráficas de resultados, cálculos a partir de las medidas experimentales, cuestiones para ampliar conocimientos, sugerencias para realizar otras experiencias, etc…

Al finalizar el módulo, se realiza una prueba de evaluación de los conocimientos adquiridos, tipo test, basada en las prácticas realizadas y en las cuestiones propuestas en cada una de las prácticas.

Nos planteamos también qué parte de la nota pueda estar dedicada a reflejar el trabajo individual o colectivo del alumnado. Cabe la posibilidad de que los alumnos interesados en una mayor profundización de conocimientos puedan acometer tareas como el diseño (o modificación) de pruebas psicofísicas orientadas a la detección y diagnóstico de las capacidades visuales. En estos casos se fomentará este tipo de actividades que, aparte de constituir una de las más interesantes actividades de autoaprendizaje, obviamente deberá reflejarse en la nota.

Como plataforma de comunicaciones se ha implementado la herramienta 'blog' de Moodle, creando diferentes blogs para consultas técnicas exclusivamente o para uso general. Además, se ha habilitado la subida de archivos de resultados mediante la herramienta 'wiki' de Moodle. Se fomenta de esta forma que el ejercicio de análisis razonado de los datos individuales se complemente con el debate grupal sobre los resultados obtenidos.

El orden de realización se sugiere al alumno mediante la planificación del curso, pero no hay ningún motivo para que pueda realizarlas en otro orden si lo considera conveniente o interesante, ya que cada guion es autoconclusivo.

Aunque la orientación de este curso en principio es puramente individual, no hay nada que impida un trabajo en grupo, aunque sea a distancia. Es posible reproducir en pequeña escala la experiencia de trabajo en un grupo de investigación. Sea cual sea el método de trabajo, nuestro interés es estimular al alumno a plantearse preguntas frente a nuevos conceptos: por qué se obtienen determinados resultados, en qué se basan, qué pasa si cambiamos parámetros o condiciones o el observador etc… Se trata de estimular la curiosidad, la iniciativa y la capacidad de reflexión y de análisis, y de desarrollar herramientas de trabajo que los estudiantes podrán aplicar en diversos campos de estudio relacionados con su especialidad.

Con estas estrategias confiamos que comprendan la necesidad de relacionar conocimientos adquiridos en diversas materias y se potencien sus capacidades de resolución de problemas, haciéndoles asumir un papel más activo que en las clásicas prácticas de laboratorio.

Agradecimientos: El MOOC Prácticas de Psicofísica y Percepción Visual se ha realizado dentro de la 'Convocatoria de ayudas a proyectos de innovación educativa para la promoción de la enseñanza semipresencial y online' del Vicerrectorado de Calidad e Innovación Educativa de la Universidad de Alicante (Programa PENSEM-ONLINE), BOUA 10/11/2017.

Bibliografía

[1] D. de Fez, V. Viqueira, Fundamentos de percepción visual, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2014.

[2] J. Malo, M.J. Luque. "COLORLAB: The Matlab Toolbox for Colorimetry and Color Vision", http://isp.uv.es/code/visioncolor/colorlab.html, Last visited September 13th, 2018.

[3] P. Capilla, M.J. Luque, D. de Fez. "Colorlab Colorimeter: A tristimulus colorimeter for teaching purposes". Opt Pura y Apl 43, 193-200, 2010.

[4] M.J. Luque, D. de Fez, M.C. García-Domene, V. Moncho. "Tools for generating customized visual stimuli in visual perception labs using computer controlled monitors". Proc. ICERI 2013 Conf., 6200-6207, 2013

[5] M.J. Luque, D. de Fez, P. Capilla, A. Pons, A. Díez–Ajenjo. "Learning clinical psychophysics by implementing clinical tests". Proc. ICERI 2015 Conf., 7646–7653, 2015

[6] M.J. Luque, D. de Fez, M.C. García–Domene, A. Díez–Ajenjo, J. Malo. "Co–operative lab work for clinical psychophysics teaching". Proc. ICERI 2015 Conf., 5688–5697, 2015

[7] M.J. Luque, D. de Fez, M.C. García-Domene, M.A. Díez-Ajenjo, P. Capilla, "Demo_estimuls, a tool for the design of color vision tests in the classroom", Proc. EDULEARN 2016 Conf. 7916-7926, 2016.

[8] https://moodle2017-18.ua.es/formacion/enrol/index.php?id=85

¿Se puede enseñar el color en Primaria mediante indagación?

José A. García[1*], F. Javier Perales[2], Juan L. Nieves[1] y

Javier Romero[1]

[1]*Departameno de Óptica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada*

[2]*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada*

1. Introducción

El color, concebido como atributo de la luz, forma parte esencial de la percepción de los individuos sobre su entorno y constituye una de las sensaciones más tempranas que los niños consiguen diferenciar y nombrar. No obstante, ir más allá de esas primeras sensaciones no resulta sencillo y requiere de una estrategia de enseñanza explícita que aborde las principales propiedades de este fenómeno.

Por otra parte, cada vez son más los científicos [1] y organismos [2] que indican que debemos enseñar ciencia haciendo ciencia y que ello debe abordarse a la edad más temprana posible. Esto no suele ser fácil de llevar a cabo, tanto por las características de los niños como por los métodos que utiliza la ciencia. Sin embargo, consideramos que el color puede ser, y de hecho lo es como veremos, un elemento proclive para aunar estos dos aspectos: el aprendizaje, del color en nuestro caso, y la familiarización con el método científico siguiendo una metodología por indagación, es decir, como se trabaja en Ciencia.

El objetivo de este trabajo es fundamentar didáctica y curricularmente la enseñanza del color en Primaria y aportar algunas evidencias sobre lo adecuado de utilizar una estrategia mediante indagación para su aprendizaje en esta etapa educativa.

2. Fundamentación

Curricular

Si revisamos los Contenidos Mínimos de la L.O.M.C.E. (Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria), encontramos las referencias que aparecen subrayadas en la Tabla I.

Materia	**Bloque de contenidos**	**Criterios de evaluación**	**Estándares de aprendizaje evaluables**
Educación Artística A) Educación Plástica	Bloque 1. Educación audiovisual	2. Aproximarse a la lectura, análisis e interpretación del arte y las imágenes fijas y en movimiento en sus contextos culturales e históricos comprendiendo de manera crítica su significado y función social siendo capaz de elaborar imágenes nuevas a partir de los conocimientos adquiridos.	2.1. Analiza de manera sencilla y utilizando la terminología adecuada imágenes fijas atendiendo al tamaño, formato, elementos básicos (puntos, rectas, planos, colores, iluminación, función…). 2.2. Conoce la evolución de la fotografía del blanco y negro al color, de la fotografía en papel a la digital, y valora las posibilidades que ha proporcionado la tecnología.
		3. Utilizar las tecnologías de la información y la comunicación de manera responsable para la búsqueda, creación y difusión de imágenes fijas y en movimiento.	3.1. Maneja programas informáticos sencillos de elaboración y retoque de imágenes digitales (copiar, cortar, pegar, modificar tamaño, color, brillo, contraste…) que le sirvan para la ilustración de trabajos
	Bloque 2. Expresión artística	2. Representar de forma personal ideas, acciones y situaciones valiéndose de los elementos que configuran el lenguaje visual.	2.1. Distingue y explica las características del color, en cuanto a su luminosidad, tono y saturación, aplicándolas con un propósito concreto en sus producciones. 2.2. Clasifica y ordena los colores primarios

* *e-mail*: jgarcia@ugr.es

	(magenta, cyan y amarillo) y secundarios (verde, violeta y rojo) en el círculo cromático y los utiliza con sentido en sus obras. 2.3. Conoce la simbología de los colores fríos y cálidos y aplica dichos conocimientos para transmitir diferentes sensaciones en las composiciones plásticas que realiza.

Tabla I. Presencia del color en el RD 126/2014 de Contenidos Mínimos para Educación Primaria

Como podemos observar en dicha Tabla I, se tratan las siguientes características del color: diferenciación y denominación, luminosidad/tono/saturación, colores primarios/secundarios y fríos/cálidos. No obstante, quedan ausentes otras propiedades luminosas y fisiológicas esenciales para poder comprender la naturaleza del color (p. ej., reflexión, absorción, transmisión, fisiología de la visión).

Didáctica

Como antecedentes de nuestra propuesta apuntamos el trabajo de Bravo y Rocha [3] en el que utilizaron una estrategia progresiva sobre la enseñanza de la visión y el color en Primaria. A la edad de 9-10 años, las autoras introdujeron el estudio de "variables de las que depende la percepción del color, lo que llevó a analizar: las características espectrales de la luz blanca (como composición de luces "coloreadas") y los procesos de absorción, transmisión y reflexión selectiva (guiando la atención de los alumnos a que los cuerpos que vemos de distintos colores reflejan luz con distintas características)". Analizaron los resultados de un pos-test al final de la etapa de Primaria y describieron los resultados en cuatro categorías en función de su proximidad a los contenidos científicamente aceptados [4] (Tabla II).

Categoría I Modo de conocer netamente intuitivo	*Caracterización de la concepción:* Se explican los fenómenos perceptivos en función de hechos observables y de la información aportada directamente por los sentidos. *Principio subyacente:* Estado – Hecho o dato – Realismo ingenuo. Razonamiento reduccionista, monoconceptual, no sistémico. *Ejemplos:* Se ven objetos de distintos colores porque fueron pintados de esa manera.
Categoría II Modo de conocer intuitivo	*Caracterización de la concepción:* Se reconocen relaciones causales lineales entre variables. Al color se lo concibe como consecuencia de las características de la luz incidente. *Principio subyacente:* Causalidad Lineal Simple – Estado – Realismo ingenuo. Razonamiento reduccionista no sistémico. *Ejemplos:* Si iluminamos a un objeto con luz roja lo veremos rojo
Categoría III Modo de conocer intermedio correcto pero incompleto	*Caracterización de la concepción:* Se reconocen las interacciones entre la luz y la materia como causa de la percepción en tanto se da un papel más pasivo al sistema visual (el de mirar). Se utilizan ideas incompletas pero correctas en el contexto de la ciencia escolar. *Principio subyacente:* Causalidad Lineal Múltiple – Proceso – Proceso de superación del realismo ingenuo. Razonamiento pluri conceptual no sistémico. *Ejemplos:* Un objeto se ve rojo porque refleja luz roja y absorbe las demás componentes de la luz incidente.
Categoría IV Modo de conocer de la ciencia escolar	*Caracterización de la concepción*: Se reconocen las interacciones luz – objeto (absorción y reflexión) y luz reflejada – sistema visual (percepción). Se utilizan modelos abstractos para interpretar y explicar los fenómenos perceptivos. *Principio subyacente*: Sistema – Interacción – Superación del realismo ingenuo. Razonamiento sistémico, pluri-variado, no reduccionista. *Ejemplos*: Se ven objetos de distintos colores porque absorben y reflejan luz con distintas características. Según las características espectrales de la luz que incide en el ojo, se llevan a cabo determinados procesos en el sistema visual que conducen a la percepción de un color.

Tabla II. Caracterización y ejemplificación de los modos de conocer sobre el color hallados. Fuente: [4]

Desde el punto de vista del cómo enseñar el color, la estrategia de enseñanza por indagación se va abriendo camino como una alternativa a modelos de enseñanza tradicionales. Aunque no cabe reducirla a una secuencia rígida de pasos, sí existen algunas pautas reconocibles, tales como las que se muestran en la Tabla III.

Modelos de indagación	Destrezas de indagación agrupadas en dimensiones				
Nivel	*1. Plantear preguntas científicamente*	*2. Basarse en pruebas*	*3. Explicar a partir de pruebas*	*4. Explicar a partir de conocimientos*	*5. Comunicar y justificar*
3. Abierta	Formulan sus preguntas	Determinan aquello que constituye una prueba y lo recaban	Formulan explicaciones después de agrupar sus pruebas	Examinan otros recursos para formular explicaciones sobre su trabajo	Buscan cómo formular argumentos lógicos para comunicar sus explicaciones
2. Guiada	Seleccionan preguntas y plantean otras nuevas	Se les orienta para que recaben ciertos datos	Se les guía en el proceso de formular explicaciones a partir de pruebas	Se les dirige hacia áreas y fuentes de conocimiento científico	Se les orienta hacia estrategias para desarrollar la comunicación
1. Estructurada	Clarifican o concretan las preguntas que se les asignan	Reciben datos y se les pide su análisis	Se les proporcionan ejemplos de cómo usar las pruebas para formular explicaciones	Se proporcionan posibles conexiones con el conocimiento científico	Se les proporcionan directrices a usar para enfocar la comunicación
0. Confirmación / actividades de verificación	Dan respuesta a las preguntas proporcionadas por otros	Reciben datos y se les explica cómo analizarlos	Reciben explicaciones sobre sus resultados	Se les indica la conexión precisa entre los conocimientos	Reciben pasos y procedimientos específicos para la comunicación

Tabla III. Modelos de indagación y destrezas desempeñadas por el alumnado. Fuente: [5]

3. Metodología

En el caso concreto que nos ocupa sobre la enseñanza del color, podemos aplicar la metodología por indagación a cualquier nivel educativo, siempre que tengamos presente las características del grupo y los objetivos que pretendemos conseguir. Describimos a continuación la realización de una experiencia que hemos llevado a cabo para poner en práctica el enfoque comentado.

La muestra con la que hemos trabajado ha estado constituida por los dos grupos del curso 3º de primaria (de edades comprendidas entre los 7 y 8 años) de un colegio público del área metropolitana de Granada. Los objetivos que nos planteamos fueron:

1) Que los alumnos fueran conscientes de que el color de los objetos no sólo depende del objeto en sí, sino también del iluminante con el que lo observamos.
2) Que los alumnos pudieran experimentar y extraer evidencias diferenciadoras sobre las mezclas de color, tanto sustractivas como aditivas.

Para llevarlo a cabo hemos utilizado material de fácil adquisición, pues así los niños podrán ver que la ciencia es algo que está próximo a ellos y no sólo una cuestión que pueda abordarse en laboratorios muy sofisticados. Aparte de las luminarias que existían en la clase, usamos un conjunto de 3 LED (rojo, verde y azul) pertenecientes al equipo que puso a nuestra disposición la Sociedad Española de Óptica (SEDOPTICA) en 2015 con motivo del año internacional de la luz. Pueden conseguirse resultados análogos utilizando tres linternas comerciales de luz blanca, haciendo que la luz pase a través de diferentes filtros de color. Tales filtros de color podrían obtenerse usando papel celofán de colores o bien, algo especialmente interesante, utilizando colorantes alimentarios que los niños pueden comprar en cualquier supermercado y que no representan ningún peligro.

Comenzamos nuestra clase mostrándoles cómo se percibe el color de diversos objetos cotidianos: sus ropas, dibujos colgados en la pared de la clase, etc.; luego les mostramos algunos objetos que llevábamos y que les resultaron muy familiares, como fueron un conjunto de “chuches transparentes”. Todos tenían claro que esas chuches eran “blancas” o “transparentes” pues comenzamos la experiencia usando la luz del sol que entraba por las ventanas y la de la propia clase. Sin embargo, cuando apagamos las luces y usamos los LED de colores los niños reaccionaron de manera diferente, muchos se callaron sorprendidos ante lo que veían, y otros muchos se entusiasmaron al comprobar cómo las chuches adquirían el color del

LED que íbamos encendiendo alternativamente. Rápidamente llegaron a la conclusión que íbamos buscando, asegurando que el color también depende del tipo de luz con el que iluminemos las cosas.



Figura 1: Tres momentos de la experiencia en la que los niños indagan sobre el color de la sombra de sus manos cuando están iluminando con distintos iluminantes.

En segundo lugar, y alcanzado nuestro primer objetivo, les animamos, cosa que ya resultó muy fácil, a utilizar luces de distintos colores y descubrir si realmente tenían claro cómo sería el color de la sombra de sus manos. La figura 1 muestra tres momentos en la realización de la tarea; puede observarse un gran interés y participación por parte de todos. A partir de ahí, vamos guiando mediante preguntas la indagación que están realizando los niños hasta alcanzar los objetivos que nos habíamos propuesto. Al principio los niños están poco participativos, pero enseguida comienzan a "jugar" con las linternas y objetos, se plantean preguntas y tratan de resolverlas como si de una verdadera investigación científica se tratara. Así surgen preguntas como ¿y si ilumino con dos colores? Y prueban a encender dos de las linternas simultáneamente. ¿Y por qué vemos siempre las sombras como oscuras y grises y no de colores? Sin prácticamente dirigirles, cambian de unos colores a otros y cuando se les pregunta, todos quieren responder a partir de lo que han visto.

Proponemos terminar la sesión planteándoles cómo se conseguirá entonces tener colores en el móvil. Con una canica blanca y transparente actuando a modo de lupa les enseñamos que la pantalla de un móvil está en realidad compuesta de pequeñas lucecitas de color azul, verde y rojo, con las que consiguen los colores como suma de ellas, igual que han hecho ellos antes al superponer una luz roja y otra verde y observar el amarillo que aparecía.

En definitiva, consideramos que, desde edades tempranas resulta factible enseñar color a los niños y hacerlo con una metodología por indagación que les ayudes a conocer cómo trabaja la ciencia y, por tanto, a apreciarla más. Animamos a todos los maestros a que lo pongan en práctica con sus alumnos, lo que permitirá mejorar en la enseñanza del color y conocer mejor el método científico y las ciencias en general.

Bibliografía

[1] Ofsted, *Successful science: An evaluation of science education in England 2007 – 2010*. (Manchester, UK, Ofsted, 2011).
[2] D. Couso D., M. P., Jiménez M, J. López-Ruiz J., C. Mans, C. Rodríguez, J. M. Rodríguez, N. Sanmartí, *Informe ENCIENDE: Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica escolar para edades tempranas en España*. (Madrid, Rubes Editorial, 2011).
[3] B. M. Bravo y A. L. Rocha. "Los modos de conocer de los alumnos acerca de la visión y el color: síntesis de resultados", *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 7 nº 3, pp. 582-596 (2008).
[4] B. M. Bravo, M. Pesa y J. I. Pozo. "Cuando el aprendizaje de las ciencias implica un cambio de modo de conocer. El caso del color". *Revista de Enseñanza de la Física*, vol. 21, nº 1, pp. 11-27 (2008), p. 14.
[5] S. Bevins y G. Price, "Reconceptualising inquiry in science education" *International Journal of Science Education*, vol. 38 nº 1, pp.17-29 (2016).

Experiencias docentes de aplicación del color en el diseño de piezas cerámicas.

Irene de la Torre Fornés[1,2*], Juan Serra Lluch1 [2], Ana Torres Barchino[1,2]

[1]*Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la UPV. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia.*

[2]*Grupo de Investigación del Color del Instituto de Restauración del Patrimonio UPV. Dirección*

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

1. Introducción

La asignatura "Control del Color para el Producto", perteneciente al Máster Universitario en Ingeniería del Diseño, ETSID, de la Universidad Politécnica de Valencia, consolida una trayectoria docente centrada en el proceso y desarrollo del producto atendiendo a los aspectos cromáticos. En las recientes ediciones, la experiencia práctica de los conceptos teóricos del color y sus características (variables perceptivas, medición del color en laboratorio con aparatos específicos, connotaciones semánticas y psicológicas…) se ha formalizado en el diseño de piezas cerámicas aplicadas al revestimiento de pavimentos y superficies planas. Para ello, ha sido fundamental la colaboración sistemática de una empresa del sector que ofrezca el respaldo técnico, la orientación comercial y la infraestructura necesarios para llevar a cabo la realización del producto, nutriéndose al tiempo de la frescura y creatividad de un alumnado motivado por la oportunidad de acercarse a la realidad del mundo empresarial.

2. Análisis del contexto en el diseño de la pieza cerámica

Se parte del planteamiento de entornos concretos y emblemáticos de la ciudad de Valencia, tales como la Ciudad de las Artes y las Ciencias, el Museo Valenciano de la Ilustración y la Modernidad (MUVIM), el edificio Veles e Vents, el Hospital La Fe o el recientemente inaugurado edificio Bombas Gens Centre d´Art, como espacios reconocibles a partir de los cuales extraer las claves cromáticas que decidirán el diseño final. Se plantea el análisis del contexto en el que se va a ubicar la pieza cerámica como herramienta fundamental para abordar su diseño y con la cual se generan, argumentan y sostienen las ideas que justifican el proyecto.

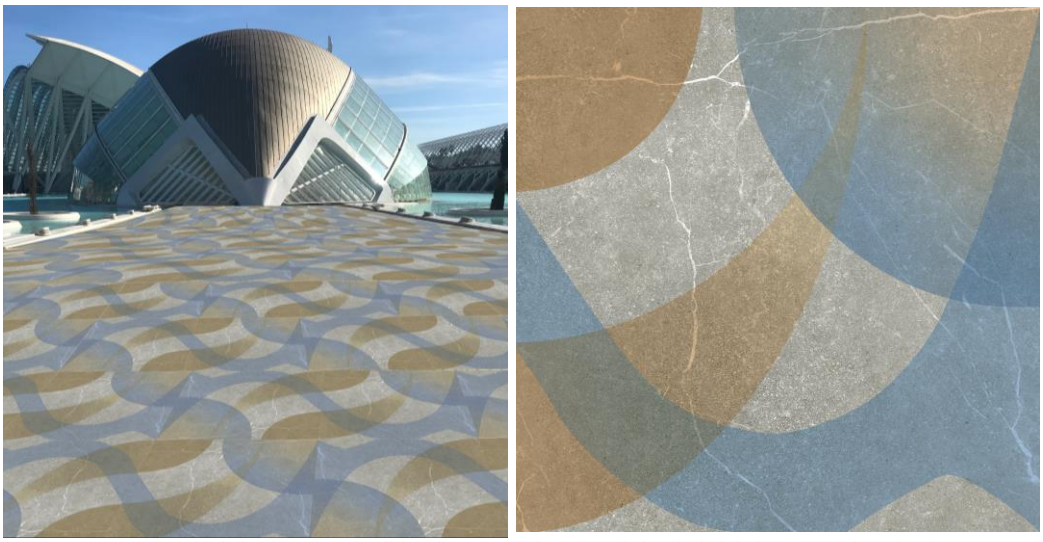


Figura 1: Fotomontaje de la pieza "Let it Flider" inserta en el entorno de la Ciudad de las Artes y las Ciencias

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

Dicho análisis del contexto se acomete desde diversas aproximaciones: contexto físico, contexto histórico, contexto social, contexto artístico, contexto funcional, o bien el contexto como pretexto para justificar intenciones propias [1]. La manera en la que el alumnado es capaz de leer estos contextos y reinterpretarlos, seleccionando qué aspectos resultan relevantes, y si decide o no asumirlos en su proyecto, es esencial en la consecución de los objetivos planteados.

3. Aspectos técnicos en el diseño de la pieza cerámica

Los proyectos han sido ideados para una determinada pieza cerámica propuesta por la empresa colaboradora, TAU Cerámica, que en la presente edición resulta de gres porcelánico de acabado pulido y dimensiones 82x82 cm, la cual cuenta con una textura pétrea como base a partir de la cual los alumnos han aplicado el diseño. Para ello, la empresa facilita un archivo digital en formato .tiff con una imagen pétrea y con un perfil de color incrustado que contiene el gamut permitido y que responde a la gama cromática que será posible obtener en el resultado final de fabricación en base a sus procesos de producción. La gama es limitada, puesto que los esmaltes que darán la imagen final de la pieza admiten sólo ciertos colores cuando están sometidos a misma temperatura de cocción que el bizcocho cerámico sobre el que están aplicados. Esta circunstancia, lejos de suponer un obstáculo, fuerza el ingenio creativo del alumnado, generándose así una diversidad de propuestas logradas con un aparentemente reducido número de variables, propuestas que van desde la impresión cromática sobre la totalidad o gran parte de la superficie (Fig. 1) a una intervención lineal (Fig. 2) y en las que las posibilidades combinatorias y de prolongación de los motivos se convierten en un valor añadido.



Figura 2: Fotomontaje de la pieza “Hero” inserta en el entorno del Hospital La Fe

De esta forma, durante la fase de ideación se dispone de libertad de técnicas gráficas para la concreción de la propuesta, si bien ésta quedará en última instancia filtrada por el programa informático –preferentemente Adobe Photoshop- que se emplea para obtener el resultado final.

4. Resultados

El período de ideación, corrección y resolución del trabajo es de tres meses. Los resultados se han mostrado en una exposición que va por su cuarta edición, celebrada en el Hall de la ETSID durante el pasado mes de enero de 2019 bajo el nombre “Colour for Stone”[2] y cuyo catálogo recoge las motivaciones que han llevado a la ideación de cada propuesta [3], [4].



Figura 3: Portada del catálogo de la exposición "Colour for Stone"

Una parte de estos diseños ha sido expuesta en la Feria CEVISAMA 2019 (Salón Internacional de Cerámica para Arquitectura, Equipamiento de Baño y Cocina, Piedra natural, Materias Primas, Esmaltes, Fritas y Colores Cerámicos, y Maquinaria). En particular, algunas de las propuestas fueron presentadas al concurso "Diseño Cerámico" en la Categoría A, correspondiente a 'Productos cerámicos conformados mediante prensado semiseco" organizado por Cevisama 2019. Entre ellas, la pieza bautizada con el lema: Bomb´Eco, (Fig. 4), pensada para revestir los interiores del espacio Bombas Gens Centre d´Art e inspirada en lo que fue antigua fábrica de bombas hidráulicas, fue merecedora del segundo premio de este certamen.



Figura 4: Fotomontaje de la pieza "Bomb´Eco" inserta en el entorno de Bombas Gens Centre d´Art

Podemos concluir que los resultados son enormemente satisfactorios y suponen un aliciente para continuar por esta fructífera andadura de diseño de piezas cerámicas a través de la colaboración entre universidad y empresa, en la que la consideración del color se erige como variable fundamental.

Agradecimientos:

Agradecemos a la empresa TAU Cerámica su entusiasta apuesta por la investigación universitaria, ofreciendo toda la infraestructura necesaria en este proyecto y sin la cual el proceso creativo no hubiera podido culminarse. Así mismo, agradecemos a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño el haber puesto a la disposición de la asignatura el espacio de exposición de trabajos de los alumnos y la edición on-line del catálogo de la misma. Finalmente, agradecemos a todos los alumnos de la asignatura "Control del Color para el Producto" todo el trabajo realizado.

Bibliografía

[1] 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).

[2] Enlace de la noticia en prensa UPV:
https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6493812868092293120

[3] I. de la Torre Fornés "Colour for Stone". ISBN: 978-84-09-09593-3. (2019).
https://issuu.com/etsid/docs/cat_logo_definitivo_2019

[4] I. de la Torre Fornés "Exposición Colour for Stone". EGA Expresión gráfica Arquitectónica. e-ISSN: 2254-6103 ISSN: 1133-6137 Núm. 35 Vol. 24, p.15. (2019).
https://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/11639/11240

Elementary colours

Patrick Callet[1,2*]

[1]*Centre Français de la Couleur. President*

[2]*CAOR Mines-Paristech, PSL University. Associate researcher*

https://www.centrefrancaisdelacouleur.fr

1. Introduction

2019 has been declared International Year of the Periodic Table [1] by UNESCO. That is the reason why we decided to publish our version of the periodic table figuring the alphabet of the Universe.
It is then a more universal set of symbols to form a langage. The table presented in Figure 1, virtually, contains all the combinations of the elements leading to all the possible scenarios in our world, and beyond, to define material combinations. We today know that ultra-heavy elements are possible but none has been observed so we limit temporarily the number of the elements to only 118! Our periodic table is not enough complete and computed for optical properties known at room temperature (some exceptions are nevertheless considered). More, for the visible domain the transparent elements (gases) cannot appear. Thus our table includes "intrinsically" empty cells. Some other elements are not accessible due to their very small amount of real atoms in the universe and their inexistence on our planet (e.g. Fr). A lot of other elements are very radioactive substances and no data are available for the visible domain. For some more common and abundant elements we did not found any useful data (e.g. Iodine or Fluorine).

Here we show the obtained results by a set of spectral computed images of the elements only using their optical constants we have been able to find in the scientific literature or accurately measured by spectroscopic ellipsometry over the visible range.

2. Modelling and measuring optical properties of the elements

Three ways for obtaining "optical constants" will be briefly described here. These optical constants are described by the complex index of refraction written as $n'(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda)$ where $n(\lambda)$ is the optical index and $k(\lambda)$ the absorption index. In a more general acception, including anisotropic properties of some elements, we have to consider the complex dielectric tensor.

The most intellectually exciting way to follow for "building" the optical constants of the elements is that proposed by the team of Andras Vernes in Vienna [2,3]. He decided to start the computation of real part and imaginary part of the complex dielectric function of an element on the unique knowledge of its electronic structure. He then applied an *ab initio* modelling giving a very surprisingly beautiful result. We only give here a comparison of his results and ours, simply extracted from table of optical properties of metals, in Fig. 2. To learn more about the method employed by Vernes we can mention he used the linear response theory, i.e. the Kubo-formula, in connection with the so-called Kohn-Korringa-Rostoker band structure method based on the density functional theory to calculate the complex optical conductivity. It is a parameter-free (first principle or *ab initio*) fully relativistic scheme, he developed about 10 years ago.

The mean index of refraction is then computed as $n_m = \frac{n_a+n_b+n_c}{3}$ and in a lot of sub-cases we have $n_a = n_b \neq n_c$. The rendering model computes the Fresnel formulas attenuated by a moderate roughness function (Beckmann model[2]) for all the images here presented [4]. This is now very common in computer image synthesis (Cook-Torrance and similar models) [5,6].

1 *e-mail*: president@centrefrancaisdelacouleur.fr

2 That model, due to its physical origin is well suited for the rendering of conductive materials as it is derived from the interaction of e-m waves with oceanic water, a highly conductive medium (mirror) for radio waves.

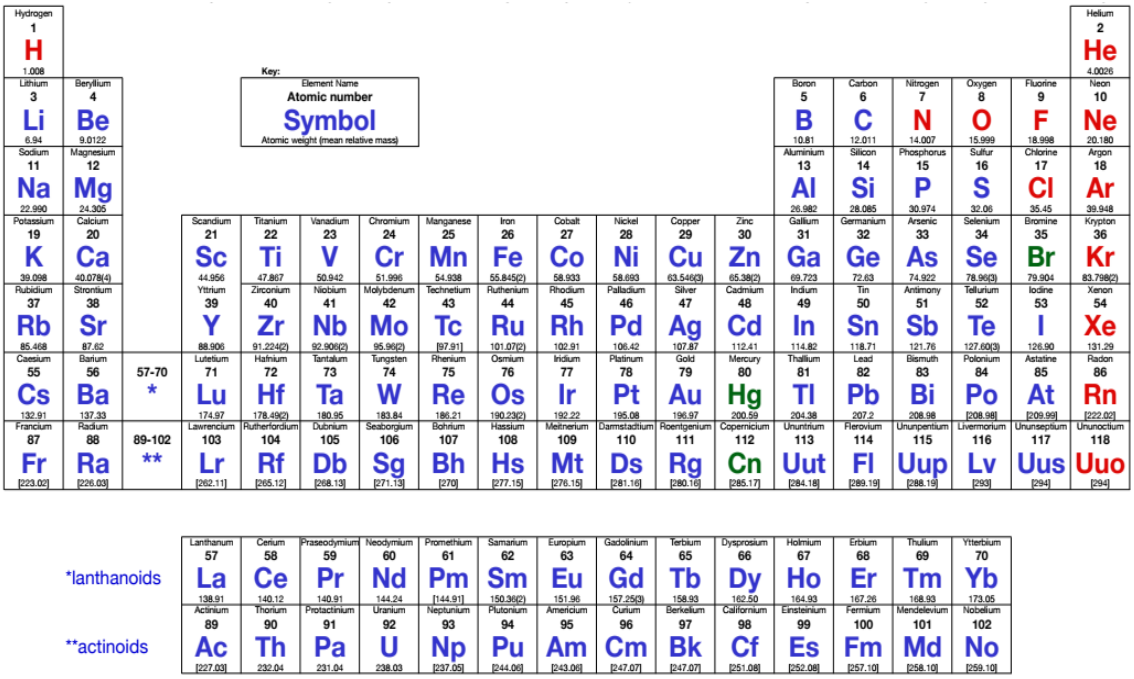


Figure 1: The most common presentation of the periodic table. For us, that table is a really virtual table of the elements as we only see chemical symbols and not a physically founded representation of the elements.

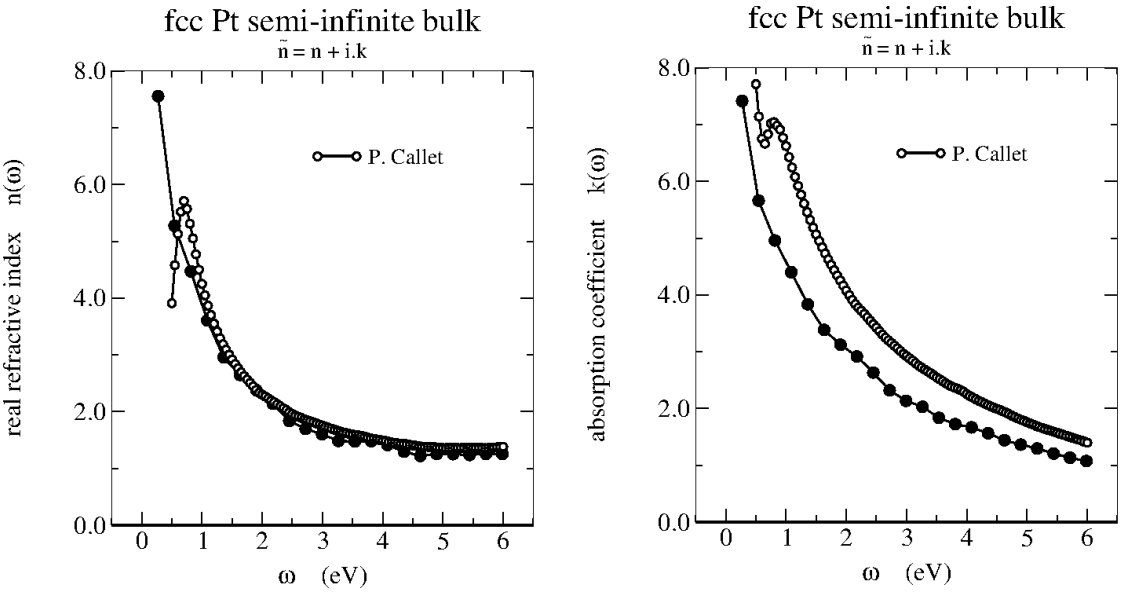


Figure 2 : An *ab initio* modelling for computing the optical constants of Platinum compared to accurate measured data used in rendering with our free spectral software *Virtuelium*. Notice that according to the representation in eV the red part of the visible spectrum[1.7 ; 3.3]eV is on the left part of each figure.

The second way for obtaining the required data is to explore the scientific reviews, journals and handbooks [7,8,9]. The visible spectrum is often described as the interval [380;780] nm in wavelength for visual and simulation applications. That interval of radiative energy is, for physicists working on atomic structures described in eV. Thus, the visible spectrum ranges from [1.7 ; 3,3] eV. Notice that the minimum in energy, 1.7eV, corresponds to the maximum in wavelength (IR limit) and, obviously the maximum concerns more penetrating radiations (UV) starting around 3.3 eV. That last remark is important for finding pertinent data (optical constants only) useful for a spectral and accurate rendering. The conversion between wavelength in nm and the associated energy in eV is given by the simple

transformation $\lambda_{(nm)} = \frac{1239,8}{E_{(eV)}}$. This is useful for computer scientists that are not familiar with physicists units or notations and help them to find data in places where they never look at.

The third way for obtaining optical constants consists to directly measure them. That is possible by Spectroscopic Ellipsometry, a technique we used for many years (~2004). The constraints for using that scientific method lie in the sample preparation (highly polished surface). Fortunately we have at disposal some minerals samples already embedded in resin, previously prepared for SEM studies. The physical samples are however cut under an unknown direction so that the measurements led to a *mean index of refraction*. For a lot of elements, this not really a problem as they have a crytalline cubic structure[3], so that they are isotropic crystals.

3. Rendering

For rendering in spectral image synthesis we need to access to the most fundamental optical properties of materials as defined above. Among these physical properties, defined by the cristallographic and electronic structures of the elements, figure the "optical constants". Though the name is not very pertinent as the involoved properties are always wavelength dependent, it is often used instead of the "complex dielectric tensor" components. Optical anisotropy of the elements is not very important and do not have a great impact on our vision. There is no place here to show the undiscernable difference between transverse or longitudinal Hafnium for example. We computed images of a lot of elements having two indices of refraction and we never perceived a visual noticeable difference between them.

The free software used for the spectral rendering over the visible range [380 ; 780]nm is called *Virtuelium*. That name was given for a lot of years as it acts as a meta-element, an element able to give realistic representations of any element. The rendering is made by the photon-mapping algorithm in normalized CIE conditions. As we do not have all the complex indices of refraction to complete the table might us predict the missing data from the data known for the neighbour elements? That approach could have been acclaimed by Mendeleev himself!

4. Conclusion

We know that for a given chemical composition, the appearance of a mineral (but not exclusively) depends for a large part on the structural arrangement of the constituents, atoms or molecules. The pattern and the crystal lattice frequently led to different morphologies (e.g. pure Carbon may appear in cubic form or hexagonal form...diamond or graphite, visually very different). Colour and appearance seems to be more dependent on structure than on nature. This fact may be verified with a lot of examples and for that reason the mineral identification may be difficult. For historical reasons, the mineral collections still offer a presentation according to the chemical composition of the exhibited minerals. When examinig the two parts of the index of refraction of an element (but not only) we observe the link between optical properties and band structure. The *optical index* contains the refraction properties, generally well known for transparent materials while the *absorption index* contains conductivity properties. One is mainly concerned by valence electrons and the other by conduction electrons. Fundamental notions of physics contribute to explain the observed colour and appearance of the elements and many more. The computation facilities of today greatly help us to understand what we are looking at in the real world using a virtual one.

3 Li, Na, K, Rb, Cs, Ca, Sr, Ba, Ra, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Fe, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Ne, He, Kr, Ar, Xe, Ge, Pb, C (diamond structure), Mn, Po. In the hexagonal crystal structure we have Be, Mg, Sc, Y, Lu, Ti, Zr, Hf, Tc, Re, Ru, Os, Co, Zn, Cd, Al, Tl, C (graphite), N.



Figure 3 : A virtually realistic periodic table. All the elements here are rendered using the complex indices of refraction or their mean value if anisotropic crystals. CIE colorimetric observer (1964 10°) and CIE D65 illuminants, sampling at 5nm over the wavelengths range [380;780]nm for all spectral data are used. Rendering in photon-mapping

Bibliography

[1] R. B. King, D. H. Rouvray, *The Periodic Table into the 21st Century* (Research Studies Pr, 2005).

[2] A. Vernes, L. Szunyogh, P. Weinberger, "Ab initio calculation of Kerr spectra for semi-infnite systems including multiple reflections and optical interferences", *Physical Review B*, vol. 65 (144448), pp. 1-11 (2002).

[3] A. Vernes, L. Szunyogh, P. Weinberger, "Limitations of the two-media approach in calculating magneto-optical properties of layered systems", *Physical Review B*, vol. 66 (214404), pp. 1-5 (2002).

[4] P. Beckmann, A. Spizzicchino, *The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces* (Pergamon Press, London, 1963).

[5] R. Cook, K. Torrance, "A reflectance model for computer graphics", *ACM Transactions on Graphics,* vol. 1 (1), pp. 7-24 (1982).

[6] M. Oren, S. K. Nayar, "Generalization of Lambert's reflectance model", *Proceedings of the ACM Siggraph Annual Conference – Transaction on Graphics,* pp. 239-246 (1994).

[7] H. Weaver, C. Krafka, D.W. Lynch, E.E. Koch, *Optical Properties of Metals*, vol. 18-1 and 18-2, (Fachinformationzentrum, 7514 Eggenstein-Leopoldhafen 2, Karlsruhe, Germany, 1980).

[8] E.D. Palik, *Handbook of Optical Constants of Solids,* (Academic Press, New-York and London, 1985).

[9] R. Doremus, S. C. Kao, Roberto Garcia, "Optical absorption of small copper particles and the optical properties of copper", *Applied optics*, vol. 31(27), pp. 5773-5778, (September 1992).

Efecto de la toxicidad del tabaco en la visión cromática de fumadores incipientes

María García Carabal[1], Mª Amparo Díez Ajenjo*[2], Mª José Luque Cobija[2], Mª Carmen García Domene[2], Mª Dolores de Fez Saiz[3]

[1]*Universidad Católica San Vicente Mártir, Valencia.*

[2]*Departamento de Óptica, Optometría y Ciencias de la Visión, Universidad de Valencia.*

[3]*Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía, Universidad de Alicante.*

1. Introducción

En España el tabaco es de consumo legal. El humo que genera contiene más de tres mil tóxicos y metales pesados (nicotina, nitrosaminas, benceno, CO…) [1-4]. La nicotina alcanza el cerebro a los 10 segundos de inhalarla [3], y puede actuar sobre el sistema inmunológico, dificultando la reparación de tejidos al provocar una disminución del oxígeno [3,5]. Otras sustancias como el monóxido de carbono (CO), impide a las células transportar cargas de oxígeno completas, privando por vasoconstricción al cuerpo de oxígeno [3].

El tabaco perjudica también a la visión [1-4]. Se asocia con la aparición precoz o al desarrollo de patologías como la degeneración macular asociada a la edad (DMAE) [1-4], cataratas [1-4], oftalmopatía tiroidea [1-3], neuropatía óptica isquémica anterior [3], ambliopía tóxica alcohol-tabaco [3,4], retinopatía hipertensiva [3], uveítis [1], daño en superficie ocular [1,4] (valores de tests lagrimales con puntuaciones más bajas [5] que en la población normal) y reducción del pigmento macular [2]. Además, la hipoxia retiniana reduce la sensibilidad cromática mesópica [6] y el envenenamiento por CO provoca escotomas centrales-paracentrales, causando neuropatía tóxica similar a la ambliopía por tabaco-alcohol [7].

Parece razonable estudiar el efecto del tabaco en las vías visuales, concretamente en la visión del color. Existen estudios con fumadores (clasificados según el consumo de cigarrillos por día (cig/día)) para perimetrías rojo-blanco [8] o azul-amarillo [9] (SWAP), encontrando que en fumadores moderados (máximo 20 cig/día) puede detectarse una pérdida general de sensibilidad [9], mientras que en fumadores crónicos (mínimo 20 cig/día) aparecen escotomas paracentrales [8]. En el test desaturado de 28 tonos de Roth, incluyendo dos grupos de fumadores, se encontraron diferencias en puntuación frente a población no fumadora en fumadores de más de 20 cig/día [10]. Pero en la bibliografía no hay estudios que evidencien si estos efectos aparecen al inicio del hábito de fumar o en casos moderados o crónicos.

El objetivo del trabajo es valorar el efecto del tabaco en la visión del color en fumadores incipientes jóvenes. Hasta ahora no se han realizado comparaciones entre poblaciones sanas jóvenes de no fumadores y de fumadores incipientes (5 años fumando), donde podría esperarse que no hubiera afectación dado el tipo de muestra (joven y con poco tiempo fumando) o que, por el contrario, ya se detectara el comienzo de los efectos que aparecen en poblaciones más mayores y/o fumadoras durante más tiempo [8-10].

2. Metodología Experimental

Todas las pruebas se realizaron en la Clínica Optométrica de la Fundación Lluís Alcanyís de la Universidad de Valencia. Los criterios de inclusión fueron pacientes entre 18 y 35 años con una AV unidad en escala decimal o superior con compensación. Los criterios de exclusión fueron tener enfermedades oculares o sistémicas o defectos colorimétricos congénitos. El grupo de no fumadores incluía pacientes que no hubiesen fumado más de 100 cigarrillos de forma esporádica durante toda la vida. En los fumadores, se requería ser fumador durante al menos 5 años y que actualmente fumaran10-20 cigarrillos/día. No se hizo distinción entre tabaco de cigarrillos y de liar, porque las evidencias científicas demuestran que ambos son igual de perjudiciales [18], ni se pedía constancia en la cantidad de cigarrillos/día en los años de tabaquismo. El estudio se realizó bajo las directrices del Protocolo de Helsinki y los pacientes firmaron un consentimiento informado.

A todos los pacientes se les realizó una revisión para descartar problemas visuales en ambos ojos que pudieran enmascarar el resultado (retinopatías, glaucomas, opacidades corneales, etc.) y una anamnesis para detectar el consumo de fármacos que pudieran alterar los resultados o el tiempo de respuesta (hidroxicloroquina [11], antiestamínicos [12]…). Las pruebas se hicieron en un solo ojo por paciente para evitar duplicicidad de datos [13]. La revisión consistía en: medidas con el autorrefractómetro y tonómetro de aire (TRK-1P Topcon), fotografía y OCT de fondo de ojo (3D-OCT 2000 Topcon), examen con lámpara de hendidura (SL-2F Topcon), toma de agudeza visual (AV) con su refracción cuando llevaban compensación, graduación y comprobación de la dominancia ocular motora y sensorial (por el método de la lente positiva de +2 D) para realizar las pruebas en el ojo dominante sensorial de cada paciente o en el ojo dominante motor si no se tiene una dominancia sensorial marcada. Tras esta revisión, se analizaban los mecanismos cromáticos de los sujetos, mediante un test Farnsworth-Munsell de 100 tonos (FM100h), una campimetría SWAP (Short Wavelength Automated Perimetry) o azul-amarillo con el dispositivo Humphrey (Zeiss) para la vía azul-amarillo (BY) [14-16] y con el dispositivo ATD de doble modulación para valorar la vía rojo-verde (RG) [17]. También se rellenaba una encuesta sobre los hábitos de consumo de tabaco (años fumando, cantidad de cigarrillos al día, etc.). Todas las pruebas se llevaron a cabo en una única visita.

Para analizar los resultados se ha usado el programa IBM SPSS Statistics 20. Se hizo una prueba de normalidad de las muestras para cada variable con el test de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors para las variables con más de 30 datos y el test de Shaphiro-Wilk para los casos con menos de 30 muestras. Se realizó un t-test para muestras independientes o un U de Mann-Whitney para evaluar la diferencia entre medias entre fumadores y no fumadores. Se empleó el test Chi-Cuadrado para evaluar la proporción de puntos anómalos del campo entre fumadores y no fumadores. Para hacerlo, se extrajeron de las campimetrías SWAP datos con la información para cada punto del mapa y los índices globales. Los datos para cada punto del mapa fueron la sensibilidad (S), el valor de desviación total (TD), la probabilidad de anomalía de la desviación total (pTD) (donde el valor 0 son los puntos dentro de límites normales ($p \geq 5\%$) y 1 los puntos fuera de límites ($p < 5\%$)), el valor de desviación patrón (PD) y la probabilidad de anomalía de la desviación patrón (pPD, con los mismos límites que pTD). Los índices globales fueron la desviación media (DM), y el factor de irregularidad (DSM). En las campimetrías del ATD se usaron los valores de sensibilidad (S), desviación (D) y desviación corregida (DC) y sus probabilidades asociadas de anomalía en cada punto del mapa (pS, pD y pDC) y los índices globales de sensibilidad media (MS), desviación media (DM) y el factor de irregularidad (PSD). Del test FM100h se calcularon para su análisis los parámetros TES y PTES. Se consideró que las muestras fueron estadísticamente distintas cuando $p < 0.05$.

En los pacientes que participaron con el ojo izquierdo se transformaron los datos para su análisis al formato del ojo derecho para poder hacer los cálculos.

3. Resultados

Participaron 31 pacientes. 13 pacientes fueron fumadores (8 mujeres y 5 hombres de edad media 27±2 años) y 17 pacientes no fumadores (7 mujeres y 10 hombres de 25±3 años de media). Un paciente se descartó por detectarse una anomalía cromática congénita. Los pacientes fumadores fumaban una media de 14s$\pm$4 cigarrillos por día durante 10$\pm$3 años.

Los resultados de las pruebas de normalidad para todos los parámetros no binomiales de las campimetrías y la puntuación del Farnsworth-Munsell fueron no paramétricas.

Tras analizar los datos del Farnsworth-Munsell, se observó una media de puntuación TES mayor en fumadores que en no fumadores (51$\pm$54 vs 35$\pm$16), pero no significativa ($p=0.147$). Tampoco se encontraron diferencias en los valores pTES RG ($p=0.07$) y BY ($p=0.29$)

En la prueba U de Mann-Whitney comparando ambas poblaciones (fumadores y no fumadores), se encuentran diferencias significativas para la sensibilidad (S), la desviación total (TD y D), la desviación patrón (PD y DC), la desviación media (DM) en ambas perimetrías, en donde en todos los casos, los valores obtenidos en la población fumadora fueron peores. No se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos en el resto de parámetros.

En el test Chi-cuadrado de Pearson se extrajo el valor de significación asintótico bilateral para comparar las diferencias entre variables nominales (número de puntos de las campimetrías que determinan la probabilidad de que los valores pertenezcan a un sujeto sano). En la prueba ATD para la probabilidad de la sensibilidad y de la diferencia no hay valor de significación, puesto que en estas variables no había puntos con una $p<0,05$ sospechosos de ser anómalos. Según los valores, la cantidad de puntos anómalos para fumadores sería estadísticamente diferente de la cantidad para no fumadores.

4. Discusión

En este estudio encontramos que en las pruebas de las vías parvocelular cromática analizada con el dispositivo ATD y koniocelular obtenida con perimetría SWAP hay diferencias significativas entre fumadores y no fumadores en varios de los parámetros. Las diferencias con la perimetría SWAP ya se pueden encontrar en la bibliografía.

Akarsu et al[8] realizaron un estudio en fumadores sanos, con los mismos criterios que en nuestro estudio, pero la media de cig/día era de 15,8±4,6 y llevaban fumando 8,1±2,2 años y pacientes no fumadores de edades mayores a los pacientes de nuestro estudio en ambos grupos. Realizaron campimetrías blanco-blanco y SWAP. Se encontró pérdida de sensibilidad en fumadores, aunque en la perimetría SWAP la pérdida fue en la zona central y no encontraron diferencias significativas en los índices globales, al contrario que en nuestro estudio. Los valores de sensibilidad en SWAP fueron de 22,2±6,3 dB en fumadores y de 25,5±4,0 dB en no fumadores, inferiores a los de nuestro estudio, resultado lógico teniendo en cuenta que la muestra de nuestro estudio es más joven.

De Carvalho et al [19] realizó un estudio con perimetrías SWAP en fumadores que también consumían alcohol y con un grupo control. Las pruebas eran en los 10º centrales, obteniendo que los fumadores tenían peores valores de sensibilidad. El resultado lo relacionaron con ambliopía tóxica nutricional por el tipo de muestra del estudio.

Es por ello que si la perimetría SWAP muestra diferencias significativas entre ambos grupos, tanto en nuestro estudio como en otros, y ya está comercializada, al igual que se usa como detector temprano del glaucoma, debería ser tenida en cuenta por los profesionales sanitarios a la hora de evaluar el daño producido por el consumo de tabaco en el paciente. Además, dicha prueba se podría usar como disuasoria en casos de terapias para dejar de fumar, indicando que el daño es en fases tempranas y no solamente a nivel pulmonar.

En la evaluación de la vía parvocelular cromática en nuestro estudio, se observa que el tabaco influye significativamente, disminuyendo su sensibilidad. Al realizar las medidas con un dispositivo no comercializado, características como el efecto aprendizaje o la repetibilidad en el dispositivo empleado en la toma de datos no se controlan actualmente. Además, los sujetos control se utilizan como patrón, lo que puede sesgar el resultado, al no tratarse de una muestra muy extensa, como las que se encuentran en los dispositivos comerciales. Por ello, es interesante desarrollar estas pruebas y mejorar el patrón con más sujetos, para tener una alternativa fiable para evaluar el canal parvocelular.

Bibliografía

[1] A. Galor, D.J. Lee, “Effects of smoking on ocular health”, Curr. Opin. Ophthalmol, **22(6),** p. 477–482 (2011).

[2] S. Kelly. “Smoking and blindness”, Br. Med. J, **328(7446)**, p. 997 (2004).

[3] R.D. Kennedy, M.M. Spafford, C.M. Parkinson, G.T. Fong, “Knowledge about the relationship between smoking and blindness in Canada, the United States, the United Kingdom, and Australia: Results from the International Tobacco Control Four-Country Project”, Optometry, **82(5)**, p.310–317 (2011). http://dx.doi.org/10.1016/j.optm.2010.10.014

[4] Y. Solberg, M. Rosner, M. Belkin, “The association between cigarette smoking and ocular diseases”, Surv. Ophthalmol, **42(6)**, p. 535–547 (1998).

[5] N. Sayin, N. Kara,G. Pekel, H. Altinkaynak, "Effects of chronic smoking on central corneal thickness, endothelial cell, and dry eye parameters", Cutan. Ocul. Toxicol, **0**, p.1–5 (2013). http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24147943

[6] D.M. Connolly, J.L. Barbur, S.L. Hosking, I.R. Moorhead, "Mild hypoxia impairs chromatic sensitivity in the mesopic range". Invest. Ophthalmol. Vis. Sci,**49(2)**, p.820–827 (2008).

[7] I.G. Simmons, P. Good, "Carbon monoxide poisoning causes optic neuropathy", Eye, **12**, p.809–814 (1998).

[8] C. Akarsu, I.I. Yazici, P. Taner, A. Ergin, "Effects of moderate smoking on the central visual field", Acta Ophthalmol. Scand, **82(4)**, p. 432–435 (2004).

[9] I.F. Hepsen, C. Evereklioglu, "Defective visual field tests in chronic heavy smokers", Acta Ophthalmol. Scand, **79**, p.53–56 (2001).

[10] C. Erb, T. Nicaeus, M. Adler, J. Isensee, E. Zrenner, H. Thiel, "Colour vision disturbances in chronic smokers", Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol, **237(5)**, p. 377–380 (1999).

[11] D. Palma, E. Rubio, S. Soro, R. García, "Toxicidad retiniana por antipalúdicos : frecuencia y factores de riesgo", Reum. Clin, **9(5)**, p. 259–262 (2013).

[12] L. Bielory, "Ocular toxicity of systemic asthma and allergy treatments", Curr. Allergy Asthma Rep, **6(4)**, p. 299–305 (2006).

[13] W.A. Ray, D.M. O'Day, "Statistical analysis of multi-eye data in ophthalmic research", Invest. Ophthalmol. Vis. Sci, **26**, p.1186-1188 (1985).

[14] P.A. Sample, C.A. Johnson, G. Haegerstrom-Portnoy, A.J. Adams, "Optimum Parameters for Short-Wavelength Automated Perimetry", J. Glaucoma, **5(6)**, p.375-383 (1996).

[15] J.M. Wild, "Short wavelength automated perimetry", Acta Ophthalmol. Scand, **79(6)**, p. 546–559 (2001).

[16] J.M. Wild, I. Pacey, "Between-algorithm, between-individual differences in normal perimetric sensitivity: full threshold, FASTPAC and SITA", Invest. Ophthalmol. Vis. Sci, **6(40)**, p.1152–1161 (1999).

[17] A. Antón, P. Capilla, A. Morilla-Grasa, M.J. Luque, J.M. Artigas, A. Felipe, "Multichannel functional testing in normal subjects, glaucoma suspects, and glaucoma patients", Invest. Ophthalmol. Vis. Sci, **53**, p. 8386-8395 (2012).

[18] L. Shahab, R. West, A. McNeill, "A comparison of exposure to carcinogens among roll-your-own cigarette smokers", Addict. Biol,**14(3)**, p.315–320 (2009).

[19] J. De Carvalho, D. Danda, H. Dantas, T. Arraes, E. Cavalcanti, "Blue-on-yellow perimetry in tobacco and alcohol consumers", Arq. Bras. Oftalmol, **69(5)**, p. 675–678 (2006).

Hacia una estandarización del color de las banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España

Luis Gómez-Robledo[1], Michal Vik[2], Martina Viková[2], Manuel Melgosa[1*]

[1]*Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Granada (España).*

[2]*Facultad de Ingeniería Textil, Universidad Técnica de Liberec. Liberec (República Checa).*

1. Introducción

El 'color en los símbolos' ha sido objeto de congresos internacionales [1] y, dentro de este campo, el color de las banderas es uno de los temas principales [2]. Destacados investigadores de la ciencia del color, como G. Wyszecki y A.R. Robertson, han trabajado sobre la estandarización del color de banderas [3]. Además, hoy en día son muchas las organizaciones o empresas cuyos "manuales de identidad corporativa" detallan con precisión los colores de sus emblemas y logotipos. En este trabajo nos centramos en el color de las banderas de las 17 Comunidades Autónomas y las 2 Ciudades Autónomas (Ceuta y Melilla) de España. En primer lugar, hemos revisado la legislación vigente respecto al color en cada una de esas 19 banderas [4-6]. A continuación, hemos realizado medidas de color en 19 banderas de tela de un cierto fabricante [7], bajo las siguientes condiciones experimentales: Componente especular excluida/incluida, exclusión/inclusión de ultravioleta, fondo blanco/negro detrás de la tela, anverso/reverso de la tela, medidas con varios dobleces de tela. Nuestro objetivo es proponer las condiciones de medida del color que sean más razonables para banderas fabricadas con tela. De este modo, pensamos que, en un futuro trabajo, estaremos en condiciones de proponer valores estandarizados de los colores de cada una de las banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España, con sus correspondientes tolerancias.

2. Metodología

A partir de una colección de las 19 banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España fabricadas en tela [7], hemos efectuado medidas de color de 93 muestras, que incluyen los colores de las banderas propiamente dichas, más colores existentes en los escudos de algunas banderas (concretamente aquéllos colores que permiten usar un campo de medida de diámetro 8 mm). El número de colores medidos para cada bandera (números entre paréntesis) fue: Andalucía (5), Aragón (6), Asturias (2), Baleares (4), Canarias (8), Cantabria (5), Castilla-León (5), Castilla-Mancha (4), Cataluña (2), Ceuta (5), Extremadura (8), Galicia (6), Madrid (2), Melilla (6), Murcia (2), Navarra (4), País Vasco (3), Rioja (10) y Valencia (6). Las medidas se realizaron con un espectrofotómetro Konica Minolta CM-2600d con geometría d/8, apertura de 8 mm, promedio de 3 medidas no consecutivas, iluminante CIE D65 y observador patrón CIE 1964. Todos los resultados de las medidas se expresarán en CIELAB [8]. Concretamente, se han realizado medidas con componente especular excluida (SCE) e incluida (SCI), UV=0% y UV=100%, y medidas con tela sobre fondo blanco (Blanco Standard RS-50 StellarNet Inc.) y sobre fondo negro (máscara NCS negra). Las coordenadas CIELAB de dichos fondos (SCE, UV=0%) son L^*_{10}=99.12, a^*_{10}=0.03, b^*_{10}=0.21 y L^*_{10}=20.28, a^*_{10}=-2.47, b^*_{10}=-3.40, respectivamente. Además, se han realizado medidas de color sobre ambos fondos para una selección de 47 de las 93 muestras, en las que observamos a ojo desnudo una diferencia de color perceptible entre el anverso y el reverso de la tela. Por último, para otra selección de 15 muestras (franjas de máxima longitud de 7 banderas: Andalucía, Cataluña, Extremadura, Galicia, Madrid, Navarra y Rioja), realizamos medidas de color del anverso de la tela con varios dobleces (hasta un máximo de 5), sobre los fondos blanco y negro.

Se ha estudiado la legislación actualmente vigente sobre el color de las banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España [4-6]. En los pocos casos en que dicha legislación hace especificaciones cuantitativas del color, el iluminante de referencia usado suele ser el iluminante C. Como nuestras medidas experimentales se hicieron con iluminante D65, para calcular diferencias de color entre los valores medidos y los indicados en la legislación vigente, hemos usado un reciente modelo de adaptación cromática [9] que

* *e-mail*: mmelgosa@ugr.es

permite transformar estos últimos a iluminante D65 y observador CIE 1964. En este cálculo, supusimos para ambos iluminantes la misma luminancia adaptante (L_A=63.7 cd/m^2, correspondiente a un objeto situado en la base de una cabina de luz con una iluminancia de 1000 lx [10]) y adaptación completa (F=1).

3. Resultados y discusión

La Tabla 1 resume los resultados sobre color encontrados en la legislación vigente [4-6]. La segunda columna indica el número de colores descritos cualitativa o cuantitativamente en la legislación vigente, que es inferior a las 93 muestras medidas en la colección de banderas adquirida. Concretamente, la legislación vigente da medidas cuantitativas fiables (hay valores anómalos en la bandera de Andalucía) para 21 colores procedentes de 7 banderas. El iluminante de referencia para las especificaciones cuantitativas de color sólo se indica expresamente en 2 banderas (Cataluña y Valencia) y es el iluminante C. En 3 banderas más (Andalucía, Aragón y Madrid) a partir de las especificaciones numéricas en x,y,Y y CIELAB es posible calcular el iluminante de referencia, que en el caso de la bandera de Andalucía tiene unos valores extraños (o sea, las coordenadas oficiales del color verde de la bandera de Andalucía en x,y,Y y en CIELAB nos parece que son inconsistentes), y en los otros 2 casos (Aragón y Madrid) es muy próximo al iluminante C. Para seguir un criterio uniforme, aunque la legislación no lo indica, hemos supuesto que las coordenadas de color dadas para las banderas de Asturias, Extremadura y Galicia se basan en el iluminante C y observador patrón CIE 1964. En todo caso, hay que indicar que actualmente el iluminante C está considerado por la CIE como obsoleto, por lo que una futura normativa oficial debería solamente fijar las coordenadas de color CIELAB de las banderas bajo iluminante D65. Curiosamente, el blanco no es considerado un color en ninguna legislación vigente, salvo en la de la bandera de Galicia. La legislación más completa y actualizada es la de la Comunidad de Valencia. A partir de la Tabla 1, es destacable observar que en el 42% de las banderas la descripción del color es sólo cualitativa, y se dan tolerancias en la especificación del color sólo en el 26% de las banderas.

Comunidades o Ciudades Autónomas	Número de colores[a]	Sólo especificación cualitativa	Pantone	Otras varias	Especificaciones CIE		
					x,y,Y	CIELAB	Tolerancia (CIELAB)
Andalucía	1				Si	Si	5
Aragón	6				Si	Si	5
Asturias	2		Si			Si	10
Baleares	4	Si					
Canarias	8		Si	Si			
Cantabria	2	Si					
Castilla-León	5	Si					
Castilla-Mancha	4	Si					
Cataluña	2				Si		
Ceuta	2	Si					
Extremadura	3[b]	Si			Si		
Galicia	7					Si	10
Madrid	2				Si	Si	
Melilla	1[c]	Si		Si			
Murcia	3		Si				
Navarra	4	Si					
País Vasco	2		Si				
Rioja	3		Si				
Valencia	5				Si	Si	5
Porcentajes		**42%**	**26%**	**11%**	**32%**	**32%**	**26%**

[a]Cuando hay especificaciones cuantitativas (incluida la especificación Pantone), esta columna da el número de colores especificados; en caso contrario, esta columna muestra el número de términos de color distintos en la descripción legislativa.
[b]Sólo se dan coordenadas del color verde, más las denominaciones cualitativas de "negro básico" y "blanco básico".
[c]La bandera incluye en su centro el escudo, con número de colores desconocido, pues dice que es "el tradicional de la ciudad".

Tabla 1: Resumen de la legislación actual respecto al color de las banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España.

En promedio, obtenemos un valor de 0.6 unidades CIELAB para la diferencia de color media respecto de la media (MCDM) en las 3 medidas no consecutivas que hemos realizado para cada una de nuestras 93 muestras (SCE, UV=0, fondo blanco, iluminante CIE D65, observador patrón CIE 1964). Este valor supone una buena repetitividad en nuestras medidas experimentales. La Tabla 2 muestra los resultados de las comparaciones SCI - SCE y UV=0 - UV=100. Las diferencias son pequeñas (del orden de la MCDM) en el caso de medidas con SCI y SCE, por lo que en un futuro podría quizá optarse por usar sólo SCE. En cuanto a la comparación entre UV=0 y UV=100, se obtienen diferencias mayores, especialmente en b^*_{10} , y quizá la opción más razonable para el futuro sea usar solamente UV=100, teniendo en cuenta el hecho de que las banderas de tela habitualmente ondean al aire libre.

Análisis Efectuado	Condiciones Experimentales	$\lvert\overline{\Delta L^*_{10}}\rvert$	$\lvert\overline{\Delta a^*_{10}}\rvert$	$\lvert\overline{\Delta b^*_{10}}\rvert$
SCI – SCE	UV=0, Fondo Blanco	0.6	0.5	0.5
	UV=0, Fondo Negro	0.8	0.3	0.5
	UV=100, Fondo Blanco	0.6	0.4	0.4
UV=0 – UV=100	SCE, Fondo Blanco	0.5	2.1	4.7
	SCI, Fondo Blanco	0.6	2.1	4.7

Tabla 2: Comparación de medidas SCI-SCE y UV=0 - UV=100 (iluminante D65, observador patrón CIE 1964, 93 muestras).

La Tabla 3 muestra los resultados de las comparaciones entre medidas de color con fondo blanco y negro, medidas del anverso y reverso de una selección de muestras, y diferencias de color entre nuestras medidas y especificaciones en la legislación vigente (Tabla 1). El fondo tras la tela tiene una influencia muy alta sobre los resultados de la medida (unas 18 unidades CIELAB, en promedio), aunque este efecto podría reducirse usando dobleces de tela, como muestra la Figura 1. En la Figura 1 el punto de partida es siempre el color del tejido sin ningún doblez, la diferencia de color con el número de dobleces sigue una tendencia asintótica que apunta a un valor en torno a 10 unidades CIELAB, y las desviaciones típicas son menores sobre fondo blanco. Si no usamos dobleces (lo que es obligado en zonas pequeñas de las banderas, como, por ejemplo, el escudo de la bandera de Galicia), quizá es más cómodo proponer una medida sobre fondo blanco que sobre fondo negro ya que en los laboratorios suele haber blancos de referencia. Además, la medida sobre fondo negro altera bastante el color blanco presente en muchas banderas. Respecto a la comparación anverso-reverso, realizada sobre una selección de 47 de las 93 muestras medidas, la Tabla 3 indica que hay diferencias relativamente importantes (en torno a 5 unidades CIELAB), que son mínimas para el color blanco. La diferencia anverso-reverso depende del tipo de tela y método de impresión, y nos parece que lo más razonable sería proponer una medida solo del anverso de las banderas. Finalmente, respecto a las diferencias entre medidas experimentales (fondos blanco y negro) y valores establecidos en la legislación vigente (21 muestras, Tabla 1), la Tabla 3 muestra valores promedio muy altos, en torno a 34 unidades CIELAB, máximos en tonos amarillos y mínimos en tonos blancos. Estos valores están muy por encima de las 10 unidades CIELAB que fijan como tolerancia las legislaciones menos estrictas (Tabla 1).

Análisis Efectuado (Número Muestras)	Condiciones Experimentales	$\lvert\overline{\Delta L^*_{10}}\rvert$	$\lvert\overline{\Delta a^*_{10}}\rvert$	$\lvert\overline{\Delta b^*_{10}}\rvert$	$\Delta E^*_{ab,10}$ (Media ± D.T.)
Fondo Blanco – Fondo Negro (93)	SCE, UV=0	14.8	4.3	6.6	18.1 ± 5.7
	SCI; UV=100	14.6	4.5	6.9	18.0 ± 5.8
Anverso – Reverso (47)	SCE, UV=0, Fondo Blanco	1.8	1.8	2.4	4.0 ± 3.7
	SCE, UV=0, Fondo Negro	3.1	2.3	2.9	5.5 ± 5.4
Normativa – Medidas (21)	SCE, UV=0, Fondo Blanco	13.0	5.3	26.4	33.8 ± 24.8
	SCE, UV=0, Fondo Negro	9.7	8.3	28.1	34.2 ± 21.7

Tabla 3: Comparación de las medidas (iluminante D65, observador patrón CIE 1964) con 2 fondos, y para anverso-reverso de algunas telas. En la última fila se indican las diferencias entre normativa vigente (Tabla 1) y nuestras medidas experimentales [7].

4. Conclusiones y trabajo futuro

En la actualidad, la especificación del color de las banderas de las 17 Comunidades Autónomas y de las 2 Ciudades Autónomas (Ceuta y Melilla) que integran el estado español es bastante incompleta y defectuosa. Por ejemplo, en las legislaciones vigentes para estas banderas, el color sólo está especificado de forma cualitativa en el 42% de los casos y se dan tolerancias de color en el 26% de los casos. Por tanto, pensamos que es necesario avanzar hacia una especificación más rigurosa del color de las banderas de España. Siguiendo recomendaciones de la CIE, parece razonable proponer una estandarización del color de

las banderas basada en el iluminante D65 y el observador patrón CIE 1964. Los resultados de este trabajo también sugieren una futura estandarización basada en medidas de banderas con componente especular excluida (SCE), presencia de ultravioleta (UV=100), medidas sólo del anverso de la tela sin ningún doblez, y, por último, medidas sobre un fondo blanco patrón. Próximamente, vamos a realizar medidas de las 19 banderas existentes en el Tribunal Constitucional y el Tribunal Supremo de España, y desarrollaremos también un experimento visual para estimar tolerancias de color en algunas banderas.

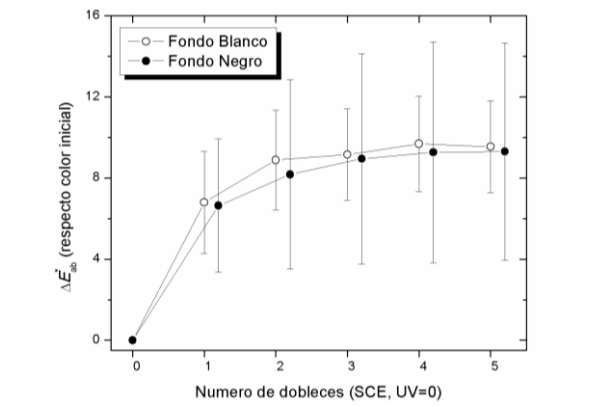


Figura 1: Cambios de color al efectuar dobleces de tela, hasta un máximo de 5, sobre dos fondos. Resultados para 15 muestras de 7 banderas (Andalucía, Cataluña, Extremadura, Galicia, Madrid, Navarra y Rioja). Las barras de error indican desviaciones típicas.

Agradecimientos: A D. Tomás Rodríguez Peñas, Tesorero de la Sociedad Española de Vexilología, por su valioso asesoramiento y ayuda para el desarrollo de este trabajo. Esta investigación está financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España, Proyecto FIS2016-80983-P, con ayuda del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de la Unión Europea.

Bibliografía

[1] 7th International Symposium of Slovenian Color Association: Colours of National Symbols. Editors: B. Simoncic, K. Mozina, S. Jeler, and A. Demsar. University of Ljubljana, Department of Textiles (2006).

[2] M. Melgosa, "El color en los símbolos", Óptica Pura y Aplicada 39, 365-370 (2006).

[3] A. R. Robertson, "The colour of the Canadian flag", ISCC/CIE Expert Symposium on 75 Years of the CIE Standard Colorimetric Observer. Ottawa, Canada, 2006.

[4] Sociedad Española de Vexilología. http://vexilologia.org/banderas-espanolas/comunidades-autonomas/

[5] Ministerio para las Administraciones Públicas (Secretaría General Técnica). *Banderas y Escudos de las Comunidades Autónomas*. Madrid, 1989.

[6] R. L. Gómez Herrera. *Compendio de las banderas de España*, 4ª Edición (Sociedad Española de Vexilología, 2018).

[7] https://www.comprarbanderas.es/

[8] CIE 015:2018. *Colorimetry, 4th Edition*. CIE Central Bureau, Vienna, 2018.

[9] 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).

[10] CIE 159:2004. *A colour appearance model for colour management systems: CIECAM02*. CIE Central Bureau, Vienna, 2004.

Comparando el color de objetos en Marte y en la Tierra

M. Melgosa[1*], M. Sánchez-Marañón[2], F. González-Galindo[3], J. Cuadros[4]

[1]*Departameno de Óptica, Universidad de Granada, Granada (España)*

[2]*Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada, Granada (España)*

[3]*Departamento de Sistema Solar, Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC), Granada (España)*

[4]*Department of Earth Sciences, Natural History Museum, London (United Kingdom)*

1. Introducción

En un trabajo previo [1] hemos estudiado el color de un conjunto de arcillas similares a las más abundantes en Marte, suponiendo como fuente de luz el iluminante D65, tal como en principio recomienda la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) [2]. Sin embargo, es razonable pensar que un determinado objeto no tendría el mismo color al ser observado por una misma persona situada en las superficies de Marte y de la Tierra. En efecto, aunque la Tierra y Marte reciben luz del Sol, la distribución espectral de la radiación incidente en las superficies de Marte y de la Tierra es diferente debido a los distintos espesores y composiciones químicas de sus correspondientes atmósferas, diferente dinámica superficial (e.g. cantidades importantes de polvo en la superficie de Marte), etc. En el caso de la Tierra, la distribución espectral de la llamada "luz día" tiene una alta variabilidad [3, 4], con dependencia de la posición geográfica, hora del día, estación del año, condiciones climatológicas, etc. Para aplicaciones prácticas, la luz día en la Tierra ha sido estandarizada por la CIE, para cualquier temperatura de color correlacionada (CCT) superior a 4000 K [2]. En el caso de Marte, también se dispone actualmente de alguna información sobre la distribución espectral de la radiación incidente en el rango visible [5]. El objetivo de este trabajo es realizar una comparación cuantitativa del color de un determinado conjunto de objetos al ser irradiados por luces como las existentes en la Tierra y en Marte. Concretamente, consideraremos pares de luces con una misma CCT y estudiaremos la influencia de la luminancia y del grado de adaptación sobre los resultados obtenidos. Aunque existe interés por poder apreciar los verdaderos colores de zonas de la superficie de Marte, hasta el momento dicho interés se ha centrado quizá más en la obtención de imágenes que en proveer resultados cuantitativos [6].

2. Metodología

La Figura 1 muestra las distribuciones de potencia espectral relativas (todas ellas normalizadas para obtener un valor triestímulo Y_{10}=100) para 3 luces de Marte (M46, M50 y M54) [5] y para 3 luces de la Tierra (E46, E50 y E54) [2]. Las CCTs de estas triadas de luces son 4600 K, 5000 K y 5400 K, conforme indican los 2 dígitos de sus designaciones. En Fig. 1 cabe notar la suavidad de las curvas representativas de la luz de Marte frente a la luz día estandarizada para la Tierra.

Se han calculado los valores triestímulo de las 24 muestras de la GretagMacbeth ColorChecker con los 6 iluminantes indicados en la Fig. 1 para el observador patrón CIE 1964, así como los llamados 'colores correspondientes' para iluminante D65 y el mismo observador patrón, considerando 2 valores de la luminancia adaptante L_A (64 cd/m^2 y 16 cd/m^2, correspondientes a objetos en el centro de una cabina de luz con una iluminancia de 1000 lx y a la pantalla de un monitor en un ambiente de oficina, respectivamente [7]) y 3 tipos de campo circundante (promedio, tenue y oscuro) con F=1.0, 0.9 y 0.8, respectivamente [7]. Para los cálculos de colores correspondientes hemos utilizado el reciente modelo de adaptación cromática CAT16 con 2 pasos [8, 9], que es similar al del modelo de apariencia de color CIECAM02 actualmente recomendado por la CIE [7], suponiendo siempre los mismos valores de L_A y F para el iluminante original y el iluminante de destino. Tras el cálculo de los colores correspondientes se determinaron los índices de inconstancia de color asociados al cambio de iluminante en unidades CIELAB.

* *e-mail*: mmelgosa@ugr.es

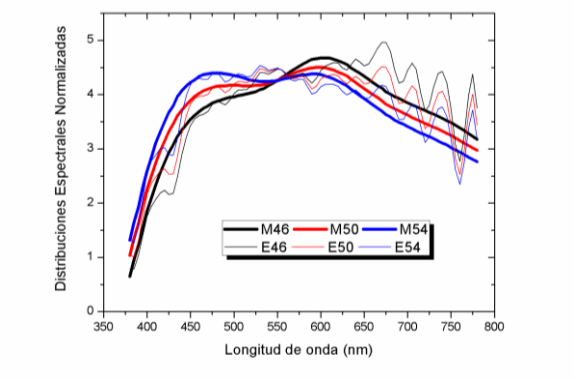


Figura 1: Distribuciones de potencia espectral relativa normalizadas (Y_{10}=100) para 3 luces de Marte (M46, M50 y M54) [5] y 3 luces de Tierra (E46, E50 y E54) [2] con unas mismas temperaturas de color correlacionadas (4600, 5000 y 5400 K).

3. Resultados

La Figura 2 indica las 24 muestras de la GretagMacbeth ColorChecker (izquierda) y los valores del cambio o inconstancia del color de cada muestra en unidades CIELAB (derecha), incluyendo sus componentes (cambios en claridad, croma y tono CIELAB), cuando pasan de ser observados bajo el iluminante M46 (luz de Marte con CCT=4600 K) a ser observados bajo el iluminante D65 (luz día con CCT=6500 K, el iluminante estándar de la CIE), suponiendo L_A= 64 cd/m^2, F=1.0. El valor medio de inconstancia de color es de 2.2 (desviación típica 1.3) unidades CIELAB. Observamos que los cambios de color de las muestras acromáticas (muestras 19 a 24) son pequeños (inferiores a 2 unidades CIELAB), y los máximos cambios, en torno a 5 unidades CIELAB, aparecen en las muestras 9 y 15 (tonos rojizos).

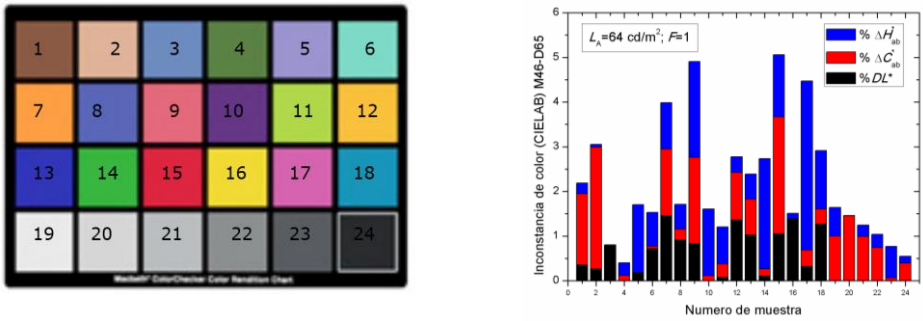


Figura 2: Muestras de la carta GretagMacbeth (izquierda), para cada una de las cuales se indica la inconstancia de color y sus componentes en unidades CIELAB (derecha), al pasar de iluminante M46 a iluminante D65, suponiendo L_A= 64 cd/m^2, F=1.0.

La Figura 3 muestra la influencia del campo circundante F (con valores 1, 0.9 y 0.8) y de la luminancia adaptante L_A (con valores 64 y 16 cd/m^2) sobre los valores medios y las desviaciones típicas de inconstancia del color de las 24 muestras (unidades CIELAB) al pasar de M46 a D65.

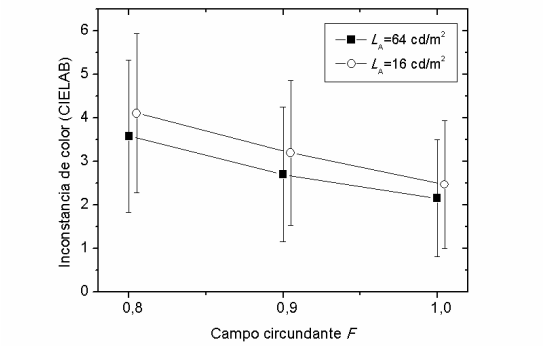


Figura 3: Dependencia de la inconstancia de color con la luminancia adaptante L_A y el campo circundante F en el cambio de M46 a D65. Las barras de error indican desviaciones típicas para las 24 muestras de la GretagMacbeth ColorChecker.

Según la Figura 3, la diferencia de color promedio (inconstancia de color) decrece cuando crece la luminancia adaptante L_A y cuando crece el parámetro F (o sea, cuando el campo circundante no es oscuro). El denominado grado de adaptación D [7-9] es una función creciente de L_A, y depende también de F. En nuestro caso, D oscila entre 0.91 (L_A=64 cd/m^2; F =1) y 0.68 (L_A=16 cd/m^2; F =0.8). Según la Figura 3, al pasar de M46 a D65 la diferencia de color de las 24 muestras es de 2.2±1.3 unidades CIELAB (el número tras el símbolo "±" indica la desviación típica) con un grado de adaptación D=0.91, y de 4.1±1.8 unidades CIELAB con un grado de adaptación D=0.68. Por tanto, en nuestro rango de oscilación del grado de adaptación D, la inconstancia del color en unidades CIELAB se modifica aproximadamente en un factor 2, de modo que al aumentar el grado de adaptación disminuye la diferencia de color, como es de esperar.

Hasta ahora hemos considerado la inconstancia de color en el cambio de M46 a D65, que podríamos considerar uno de los mayores cambios posibles, al tratarse de dos iluminantes con CCTs muy diferentes. Analizaremos ahora la inconstancia de color en el cambio M46-E46 y en el cambio M54-E54, suponiendo en cada uno de esos dos casos los dos valores extremos del grado de adaptación antes mencionados: D=0.91 (L_A=64 cd/m^2; F =1) y D=0.68 (L_A=16 cd/m^2; F =0.8). De este modo compararemos los colores de objetos observados con luces de Marte y de la Tierra con una misma CCT (4600 K ó 5400 K) con grados de adaptación máximo y mínimo. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4, que indica los valores de inconstancia del color para cada una de las 24 muestras en unidades CIELAB, con sus correspondientes componentes (diferencias de claridad, croma y tono). Las unidades de los ejes de ordenadas de los 4 gráficos de la Figura 4 son las mismas para facilitar la comparación de resultados, y los números tras el símbolo "±" de las leyendas indican valores de las desviaciones típicas. Observamos que con adaptación alta (D=0.91) los cambios de color son menores que con adaptación baja (D=0.68) para ambas CCTs (4600 K y 5400 K), como era de esperar. Concretamente, el cambio de M46 a E46 genera unas diferencias de color de 0.7±0.4 unidades CIELAB con D=0.91 y de 1.2±0.5 unidades CIELAB con D=0.68, mientras que el cambio de M54 a E54 genera unas diferencias de color ligeramente inferiores: 0.5±0.2 unidades CIELAB con D=0.91 y 1.1±0.4 unidades CIELAB con D=0.68. Por tanto, la inconstancia de color media crece aproximadamente en un factor 2 cunado el grado de adaptación pasa de 0.91 a 0.68 (como sucedía en el paso de M46 a D65, aunque ahora las diferencias de color obtenidas son menores, como era de esperar). La Figura 4 también muestra que la inconstancia de color consiste principalmente en cambios de tono y croma, no de claridad.

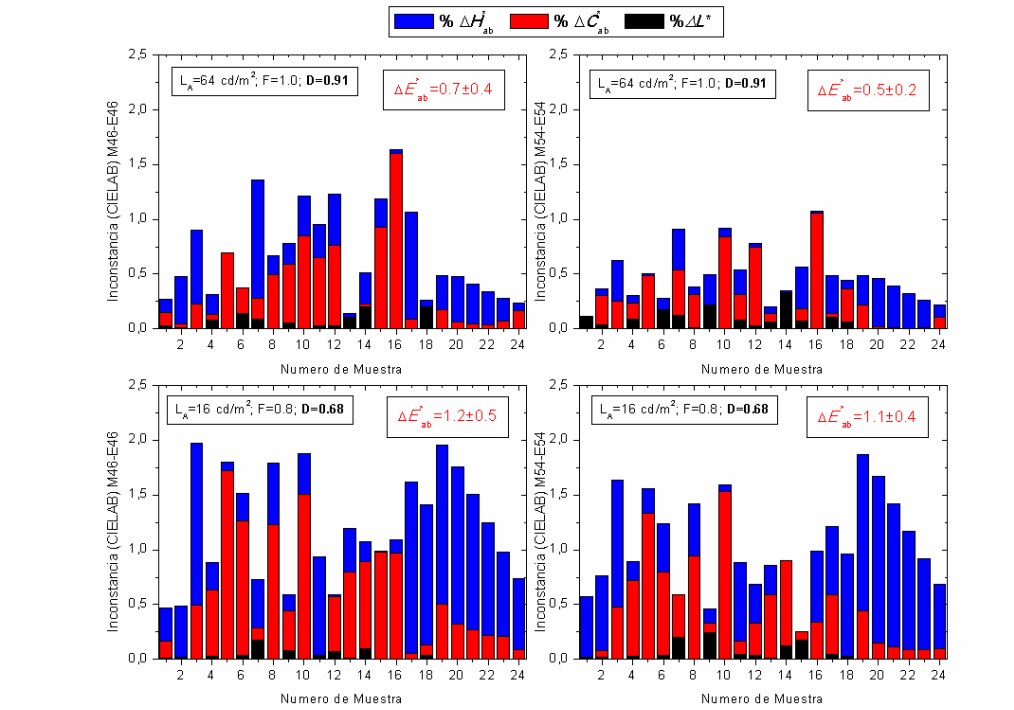


Figura 4: Inconstancia del color para cambios M46-E46 y M54-E54 con grados de adaptación D=0.91 y D=0.68.

Por último, la Figura 5 muestra que, para ambos grados de adaptación D, hay cierta correlación lineal entre la inconstancia de color Marte-Tierra a 5400 K y a 4600 K, siendo generalmente los valores de dicha inconstancia inferiores para la CCT de 5400 K.

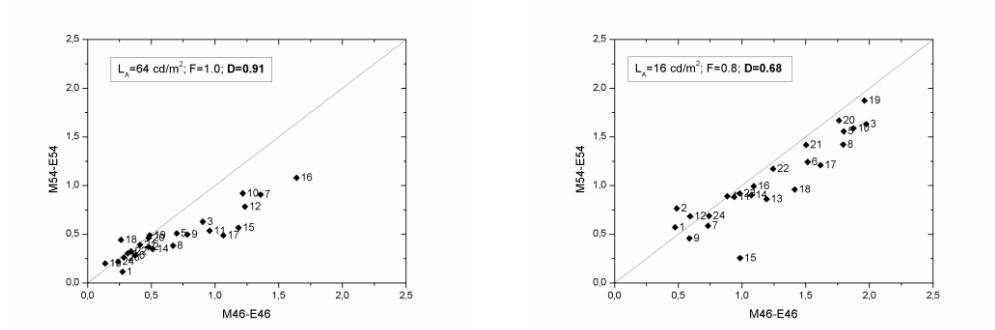


Figura 5: Comparación de la inconstancia de color Marte-Tierra a 4600 K y 5400 K para 2 grados de adaptación *D* extremos, 0.91 (izquierda) y 0.68 (derecha). Los números junto a cada símbolo indican la muestra considerada (ver Fig. 2 izquierda).

Agradecimientos: Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España, Proyecto FIS2016-80983-P, con ayuda del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de la Unión Europea.

4. Conclusión

Hemos cuantificado el cambio de color de un conjunto de 24 objetos (muestras de la carta GretagMacbeth ColorChecker) al ser observados bajo luz de Marte y luz de la Tierra. Los colores observados bajo luz de Marte con 4600 K difieren de los observados con el principal iluminante estándar de la CIE (D65) entre 2.2 y 4.1 unidades CIELAB, dependiendo del valor del grado de adaptación *D*. En cambio, para luces con una misma CCT (rango 4600-5400 K), las diferencias de color Marte-Tierra son en promedio sólo ligeramente superiores a 1 unidad CIELAB para *D*=0.68. Además, para una misma CCT, las diferencias de color de objetos en el cambio Tierra-Marte suelen ser menores para CCT altas.

Bibliografía

[1] M. Sánchez-Marañón, J. Cuadros, J. R. Michalski, M. Melgosa, V. Dekov, "Identification of iron in Earth analogues of Martian phyllosilicates using visible reflectance spectroscopy: Spectral derivatives and color parameters", Applied Clay Science **165**, 264-276 (2018).

[2] CIE 015:2018, *Colorimetry, 4th Edition* (CIE Central Bureau, Vienna, 2018).

[3] J. Hernández-Andrés, J. Romero, J. L. Nieves, R.L. Lee, "Color and spectral analysis of daylight in southern Europe", J. Opt. Soc. Am. A **18**, 1325–1335 (2001).

[4] M. Sánchez-Marañón, P.A. García, R. Huertas, J. Hernández-Andrés, M. Melgosa, "Influence of natural daylight on soil color description: assessment using a color-appearance model", Soil Sci. Soc. Am. J. **75**, 984-993 (2011).

[5] D. Barnes. http://robotics.estec.esa.int/ASTRA/Astra2013/Papers/barnes_2811165.pdf "Mars rover colour vision: Generating the true colours of Mars".

[6] http://www.donaldedavis.com/PARTS/MARSCLRS.html

[7] CIE 159:2004, *A colour appearance model for colour management systems: CIECAM02* (CIE Central Bureau, Vienna, 2004).

[8] C. Li, Z. Li, Z. Wang, Y. Xu, M.R. Luo, G. Cui, M. Melgosa, M. H. Brill, M. Pointer, "Comprehensive color solutions: CAM16, CAT16 and CAM16-UCS", Color Res. Appl. **42**, 703-718 (2017).

[9] 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 Res. Appl. **43**, 633-632 (2018).

SOBRE EL MODELO DE APARIENCIA DE COLOR DE *R.W.G. HUNT* Y SU COMPORTAMIENTO EN DISCRIMINACIÓN CROMÁTICA, *In Memoriam*

Luis M. Jiménez-del-Barco Jaldo[1*], Enrique Hita Villaverde [1] y Pablo Rodríguez Pérez[2]

[1]*Departameno de Óptica, Universidad de Granada. Facultad de Ciencias (Edificio Mecenas), Campus Fuentenueva s/n, 18071-Granada.*

[2] *Departamento de Programas y Sistemas Espaciales. INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) 28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)*

1. Introducción y objetivos

Recientemente, el pasado 23 de octubre de 2018, falleció el eminente físico del color Robert William Gainer Hunt. Durante su vida científica laboral y una jubilación muy activa, escribió más de cien artículos sobre visión del color, adaptación cromática, reproducción y medida del color, entre otros temas, y las obras: *The Reproductión of Colour* [1] y, *Measuring Colour* [2], esta última junto con con Michael Pointer. Una de sus grandes aportaciones dentro de la Ciencia del Color fue la propuesta de un modelo de apariencia de color [3-4], de alta complejidad pero de amplia capacidad predictiva y aceptación [5].

La importancia que, en diferentes campos y aplicaciones, ha adquirido la predicción de la apariencia de color-Colorimetría Avanzada- ha llevado a que en las últimas décadas se hayan propuesto diversos modelos de apariencia de color (CAM). El objetivo que pretenden es explicar y predecir diferentes efectos y fenómenos relacionados con la apariencia del color bajo variadas condiciones experimentales, así como en la búsqueda de espacios de color lo más homogéneos posibles para la evaluación de diferencias de color (CIELab,RLab, LLab, ZLab, Nayatani et al, Hunt, CIECAM97, CIECAM97s, CIECAM02 y diversas modificaciones de ellos)[6]. El Comité Técnico de la CIE TC8-01, tras diferentes revisiones y modificaciones de modelos anteriores [7], recomendó el modelo CIECAM02 como un modelo unificado y de mayor simplicidad que otros, si bien ocasiona diferentes fallos computacionales en aplicaciones relacionadas con el procesamiento de imágenes [8].

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al analizar, bajo el modelo de apariencia de color de Hunt, datos experimentales de discriminación cromática, relevantes en la literatura científica, bajo la perspectiva del estudio de la uniformidad de diferencias de color en el espacio perceptual del modelo, así como de los efectos paramétricos asociados a los estímulos de fondo empleados en los experimentos. El modelo de Hunt, dada su alta sofisticación y completitud es el que más capacidad y potencia predictiva tiene, habiéndose empleado en muchos casos para la elaboración de otros modelos empleados en diferentes aplicaciones y recomendados por CIE. Sirva esta comunicación a modo de reconocimiento *"in memoriam"* de R.W.G. Hunt.

2. Metodología

Para analizar el comportamiento del modelo de Hunt94 [4] desde el punto de vista de las diferencias de color, y estudiar su respuesta a la influencia de diferentes efectos paramétricos, en este trabajo se ha partido de diferentes conjuntos de datos experimentales sobre discriminación cromática, Luo y Rigg [9], y Cui et al [10-11] implementando las transformaciones correspondientes para diferentes condiciones experimentales (ver tabla 1), Los modelos de apariencia del color contienen numerosas no linealidades, de forma que al procesar los datos obtenidos estos pierden, en general, para el caso de las elipses de discriminación cromática, su forma elíptica. Es necesario pues, realizar un nuevo ajuste para expresar los datos finales como elipses (o elipsoides) de discriminación, empleado la ecuación (1).

$$\Delta E = g_{11}(\Delta L)^2 + g_{22}(\Delta a)^2 + g_{33}(\Delta b)^2 + 2g_{12}(\Delta L)(\Delta a) + 2g_{13}(\Delta L)(\Delta b) + 2g_{23}(\Delta a)(\Delta b) \quad (1)$$

* *e-mail*: ljimenez@ugr.es

donde $a = C \cos h$ y $b = C \sin h$ e $\Delta E = 1$. En el caso de las elipses, la ecuación se reduce al tomar $g_{1j} = 0$. En todo caso, los datos de los elipsoides analizados corresponden a secciones en planos de igual claridad L, que son elipses, por lo que los datos fundamentales son los coeficientes métricos g_{22}, g_{33} y g_{23}, que se pueden relacionar fácilmente con la longitud de los semiejes y la orientación de la elipse. Para examinar la uniformidad global se emplearon 132 elipses con un muestreo de 361 puntos para las elipses y 3731 para los elipsoides. Se empleó Matlab y el método de ajuste no lineal de Gauss-Newton.

Datos experimentales de Luo y Rigg [9]			
Blanco de referencia	x = 0.3127	y = 0.3290	Y =100
Fondo	x =0.299	y =0.323	Y = 18.2
L_W =318cd/m^2	E_O = 1000 lx	L_A= 64 cd/m^2	
D =0.0	N_C =1.0	N_b =75	
Datos experimentales de Cui et al [10]			
Blanco de referencia	X =94.804	Y =100	Z = 107.311
Fondo según fase (ver artículo) [10]			
L_w=80 cd/m^2	E_0=251 lx	L_A=16 cd/m^2	

Tabla 1: Parámetros utilizados en la aplicación del modelo Hunt94 [4] a los diferentes conjuntos de datos experimentales

3. Resultados

3.1. Uniformidad del modelo de Hunt para la especificación de diferencias de color

En la figura 1, teniendo en cuenta los parámetros de dicho modelo expresados en la tabla 1, se presentan gráficamente los resultados obtenidos tras realizar las transformaciones correspondientes en el conjunto de datos experimentales de discriminación cromática de Luo y Rigg [9] y aplicar los modelos de Hunt94 [4] y CIELab.

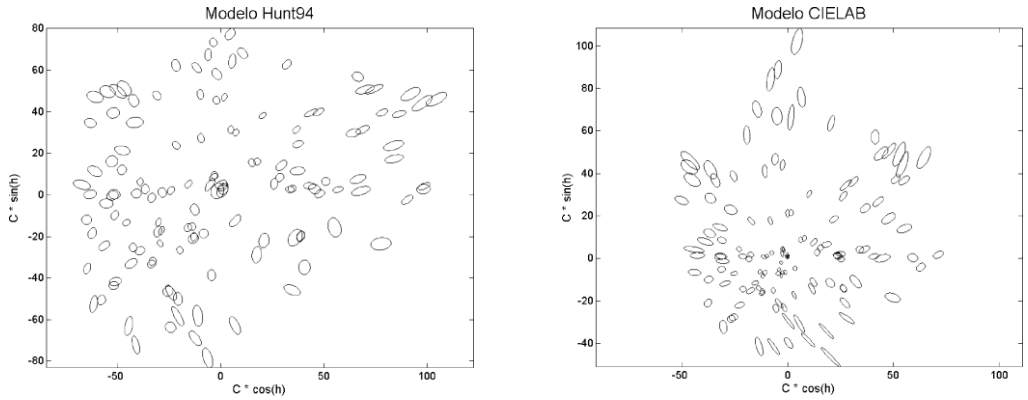


Figura 1: Elipses de discriminación cromática de Luo y Rigg transformadas al modelo de apariencia de color de Hunt y al espacio CIELab.

En la tabla 2 se presentan los datos obtenidos al aplicar el modelo de Hunt94 para el semieje mayor de las elipses "*a*", su porcentaje de variación, así como la relación semieje mayor/semieje menor y su valor medio de variación, como indicadores para la evaluación de la uniformidad de los modelos. También se presentan los resultados obtenidos en el modelo CIELab, como modelo simplificado de apariencia y CIECAM97s por ser la base del establecimiento del modelo CIECAM02, actualmente recomendado por la CIE para múltiples aplicaciones.

Modelo	**Semieje mayor "*a*"**	**Variación semieje mayor "*a*" (%)**	**Relación *a/b***	**Variación *a/b* (%)**
CIELab	2.73	51	2.14	50
CIECAM97s	3.35	31	1.64	29
Hunt94	3.10	31	1.66	29

Tabla 2: Semiejes de las elipses de discriminación cromática (Luo y Rigg) en diferentes modelos, frente al modelo de Hunt94.

3.2. Efectos paramétricos: influencia del fondo

Se ha analizado el efecto del fondo de los estímulos que constituyen el test de discriminación cromática empleado en los datos experimentales de Cui et al [10-11] para cinco centros de color propuestos por la CIE. Globalmente, los mejores resultados (mejor relación entre semiejes y menor variación de tamaño) corresponden a los modelos de Hunt94, y CIECAM97s respecto de otros propuestos en la literatura, pero presentando estos últimos resultados muy similares (ver tabla 3).

De forma general, podemos concluir de nuevo que el modelo de Hunt presenta un comportamiento más uniforme que otros modelos propuestos en la literatura, cuya exposición se ve limitada por la extensión de esta comunicación, y ligeramente mejor que CIELab y CIECAM97s. También se encuentra que el modelo de Hunt, junto a CIELab, presenta cierta correlación entre el croma y el tamaño de las elipses. Para los centros amarillo, verde y azul el mejor comportamiento es para CIECAM97s y Hunt94 (con una relación de semiejes más próxima a la unidad, lo que indica una mayor uniformidad en estas zonas). En todos los modelos analizados, en el caso de la fase experimental LWB1B, se detecta una cierta tendencia de mínimo para el semieje mayor de la elipse, que corresponde con estímulos sobre fondo blanco y marco negro.

Modelo	Semieje mayor "a"	Variación semieje mayor "*a*" (%)	Relación *a/b*	Variación *a/b* (%)
CIELab	2.50	46	2.10	27
CIECAM97s	2.68	43	1.70	27
Hunt94	2.81	42	1.65	29

Tabla3: Semiejes de las elipses de discriminación cromática (Cui et al.) en diferentes modelos, frente al modelo de Hunt94.

Respecto a la modelización de los efectos paramétricos relativos a la influencia del fondo, los resultados obtenidos muestran que los modelos siguen un comportamiento análogo al de los datos originales en CIELab, lo cual, en parte, valida la utilidad del mismo como modelo simple de apariencia del color. En todo caso, los diversos modelos acentúan las diferencias entre las distintas fases del experimento de Cui et al [11]. En la figura 2 se muestran, a título de ejemplo, los resultados para los cinco centros CIE y modelos de apariencia de color.





Figura 2: Semieje mayor **y** relación de semiejes de las elipses de discriminación cromática de Cui et al [10-11] para los centros CIE transformadas al modelo de apariencia de color de Hunt, CIECAM97's y CIELab (notación de las 10 fases en eje horizontal, para las diferentes condiciones experimentales, análogas a las empleadas por Cui et al [10]).

Bibliografía

[1] R.W.G. Hunt, *The Reproduction of Colour* (John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, United Kingdom, 6th edition, 2004).

[2] R.W.G. Hunt and M.R. Pointer, *Measuring Colour* (John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8S, United Kingdom, fourth edition, 2011).

[3] R.W.G. Hunt (1982), "A model of colour vision for predicting colour appearance", Color Res. & Appl., **7**, 95-112 (1982).

[4] R.W.G. Hunt "An improved predictor of colourfulness in a model of colour vision", Color Res. & Appl., **19**,23-33 (1994).

[5] Mark D. Fairchild, *Color Appearance Models* (John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England, second edition, 2005).

[6] M Ronnier Luo and MR Pointer, "CIE colour appearance models: A current perspective", Lighting Res. Technol., **50**, 129–140 (2018).

[7] CIE, *A colour appearance model for colour management systems: CIECAM02*, **CIE Publ. 159**, 2004

[8] Li CJ, Li Z, Wang Z, Xu Y, Luo MR, Cui G, Melgosa M, Brill MH, Pointer MR. "Comprehensive colour solutions: CAM16, CAT16 and CAM16-UCS", Color Res Appl. **42**, 703–718 (2017).

[9] M.R. Luo and B. Rigg, "Chromaticity-discrimination ellipses for surface colours", Color Res. & Appl., **11**, 25-42 (1986).

[10] G. Cui, M.R. Luo, B. Rigg and W. Li, "Colour-difference evaluation using CRT colours. Part I: Data gathering and testing colour difference formulae", Color Res. & Appl., **26**, 394-402 (2001).

[11] G. Cui, M.R. Luo, B. Rigg and W. Li, "Colour-difference evaluation using CRT colours. Part II: Parametric effects", Color Res. & Appl., **26**, 403-412 (2001).

Evaluación y Caracterización de Luminarias LED para Tareas Visuales de Altas Exigencias

Denis Riquelme Sandoval[1, 2], Cristian Pavez Barrios[2], Martín García Gutiérrez[2] y Franz Yurjevic Perin[2]

1,2-Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Electrónica e Informática, Laboratorio de Luminotecnia, Chile (denis.riquelme@usm.cl)

1-Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Electrónica e Informática, Chile (cristian.pavez@usm.cl; martin.garcia@usm.cl; franz.yurjevic@usm.cl)

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar y evaluar luminarias con tecnología LED para su uso en ámbitos donde las tareas visuales requieran de la apreciación detallada de objetos y su preservación sea una prioridad. Para tal fin se plantea la siguiente hipótesis "Los valores del índice de rendimiento del color en el LED obtenidos en mediciones de laboratorio, no se relacionan directamente con las valoraciones subjetivas obtenidas por observadores".

La caracterización del comportamiento cromático del Led es uno de los aspectos más complejos a determinar, debido a la falta de estandarización de las fuentes de estado sólido, por lo que las variantes de distribución espectral podrían afectar la percepción visual de los objetos exhibidos, es por ello necesario profundizar los trabajos de investigación que respondan estos interrogantes.

El diseño experimental que se está llevando a cabo, trabaja con dos muestras iguales iluminadas con dos fuentes de luz distintas, una iluminada con fuente patrón y la otra con lámparas LED de igual y distintos tipos de reproducción cromáticas y temperatura de color para ello evalúan mediciones subjetivas de 20 personas de diferentes grupos etarios.

***Palabras clave**: LED, Evaluación, rendimiento de color*

ABSTRACT

The main aim of this work is to characterize and evaluate lights with LED technologies for their use in fields where the visual tasks require the detailed assessment of objects and their preservation is a priority. To that end, the following theory "the index values of colour performance in the LED obtained in measuring of lab. They are not related directly with the subjective variations obtained by viewers".

The characterization of LED chromatic performance is one of the aspects more complicated to determine due to the lack of standardization of sources of solid state, so variations of spectral distribution could affect the visual perception of exhibited objects. Therefore, it is necessary to go in depth the researches and reply these questions.

The experimental design which is performing, works with two equal samples illuminated with two sources of different lights, one illuminated with source pattern and the other with LED bulb with the same and different types of chromatic reproduction and color temperature. Subjective measurement of 20 people of different age groups are assessed.

***Key words:** LED, Evaluation, color rendering*

1. INTRODUCCIÓN

La iluminación artificial es importante para la realización de diferentes tareas, como la selección de textiles, discriminación de pigmentos, apreciación visual de objetos y espacios, etc. En cada una de estas funciones visuales las luminarias LED vienen ganando un campo significativo no siempre fundado en las virtudes de la tecnología sino más bien en las presiones del mercado que aún no conoce todas sus características y efectos secundarios.

Las luminarias usadas comúnmente son del tipo incandescente halógenas y lámparas de descargas. En los últimos años, los enormes progresos en la tecnología de iluminación de estado sólido, especialmente en términos de eficiencia energética, ha incrementado el interés por las luminarias LED como una alternativa a las fuentes convencionales en aplicaciones de iluminación en general, pero unos de los retos de estas nuevas tecnologías es la calidad del color.

Los parámetros que se emplean para caracterizar el color son el índice de respuesta al color (IRC) y la temperatura de color correlacionada (Tcc), pero la utilización de estos parámetros para la medición de lámparas con tecnología LED, se encuentra en plena discusión.

El interés de esta investigación es estudiar la influencia del color en la evaluación subjetiva de los usuarios en tareas de altas exigencias.

Este tema se enmarca dentro del trabajo de investigación PID1704 y en este se hace una descripción de los parámetros que se consideraran para realizar las posteriores mediciones.

2. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizará en el desarrollo de la investigación, es de tipo experimental, cuyo objeto de estudio está centrado en la incidencia del uso de las luminarias LED para la apreciación detallada y preservación de objetos.

La caracterización del comportamiento cromático del Led es uno de los aspectos más complejos a determinar, debido a la falta de estandarización de las fuentes de estado sólido. Actualmente para el cálculo del color del LED se utiliza el diagrama de cromaticidad CIE 1931 desarrollado por Comisión Internacional de Iluminación. Sin embargo, durante las últimas décadas se ha hecho evidente que el índice de respuesta al color no se correlaciona bien con la interpretación del color visual de fuentes de bandas estrechas como es el LED, por lo anterior en este estudio se utilizará el método de la IES TM-30-15 para evaluar la reproducción cromática de las fuentes de luz

Para evaluar la preferencia de los observadores, se diseñó y montó dos muestras iguales, iluminadas con dos fuentes de luz distintas, una iluminada con fuente patrón (dicroica halógena) y la otra con lámparas LED, con distintos tipos de reproducción cromáticas y temperatura de color correlacionada. Las valoraciones de los observadores se recogieron a través de un cuestionario.

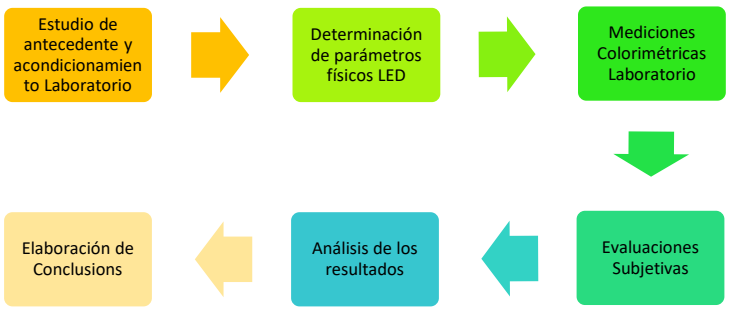


Figura 1: Metodología experimental

3. MEDICIONES

3.1. Medición Colorimétricas

Para la medición colorimétrica, se utilizaron los siguientes equipos:

- Esfera Integradora - USM
- Espectroradiómetro -Lisun Electronics
- Power Driver Tester – Lisun Electronics
- Fuente programable de voltaje alterno – ITECH

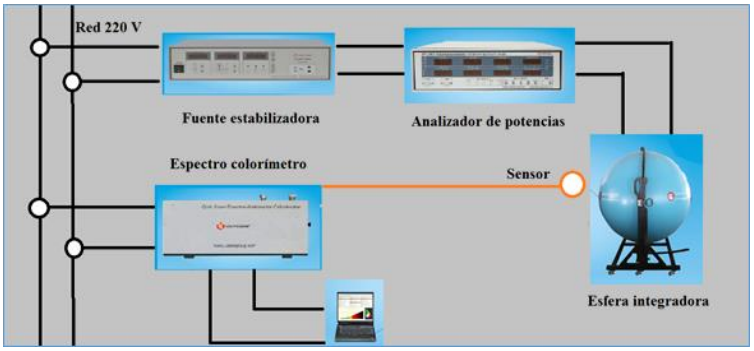


Figura 2: Circuito de medición

Las mediciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Luminotecnia, perteneciente al Departamento de Electrotecnia e Informática (ELINF) de la UTFSM, sede Viña del Mar.

Las fuentes de luz de estado sólido (LED utilizadas en este experimento son lámparas dicroicas, las que se detallan a continuación:

Muestra	Potencia Nominal (W)	Tcc (K)
A	4.6	2700
B	3.0	3250
C	7.0	4000
D	4.6	6500

Tabla I: Especificaciones técnica de las fuentes LED en estudio



Figura 3: Lámparas en estudio

Caso A:

CIE 1932		IES TM-30-15		
CRI	**Tcc**	**Rf**	**Rg**	**Tcc**
76	2525	80	91	2527

Tabla II: Datos colorimétricos muestra A

Caso B:

CIE 1932		IES TM-30-15		
CRI	**Tcc**	**Rf**	**Rg**	**Tcc**
53	2707	57	83	2709

Tabla III: Datos colorimétricos muestra B

Caso C:

CIE 1932		IES TM-30-15		
CRI	**Tcc**	**Rf**	**Rg**	**Tcc**
79	3801	79	95	3801

Tabla IV: Datos colorimétricos muestra C

Caso D:

CIE 1932		IES TM-30-15		
CRI	**Tcc**	**Rf**	**Rg**	**Tcc**
83	5424	80	93	5420

Tabla V: Datos colorimétricos muestra D

3.2. Evaluaciones subjetivas

Las evaluaciones subjetivas se realizaron con un grupo de 20 observadores, 6 mujeres y 14 hombres, con edades entre 18 a 69 años algunos con visión normal y otros con astigmatismo con sus respectivos lentes. Los valores se registraron a través de un cuestionario de 5 preguntas, las que se detallan a continuación:

1.- ¿Cuál de las pinturas cree usted que está mejor iluminada?
2.- Si tuviera que comprar una de estas pinturas ¿Cuál elegiría?
3.- ¿Cuál de las 2 pinturas es más colorida?
4.- ¿En cuál de las pinturas el color rojo es más intenso?
5.- ¿En cuál de las pinturas el color violeta es más intenso?



Figura 4: Muestra en estudio

4. RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 71% de los observadores prefieren la tecnología de estado sólido para iluminar un objeto.

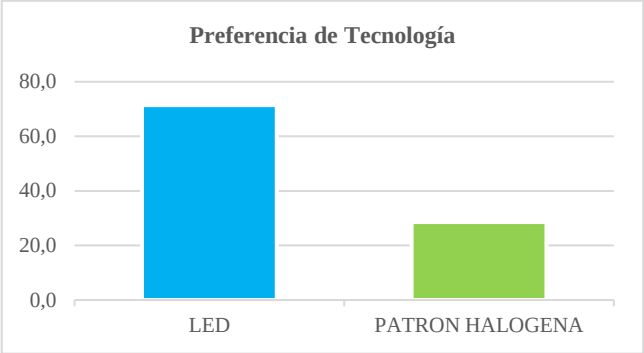


Figura 5: Preferencia de Tecnología LED vs Halógena

De los resultados obtenidos, el 86% de los observadores perciben mejor iluminada la pintura con luminaria LED.

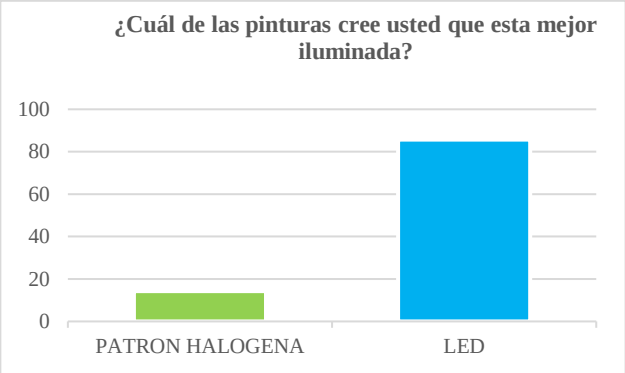


Figura 6: ¿Cuál de las pinturas cree usted que está mejor iluminada?

De los resultados obtenidos, el 68% de los observadores eligen la pintura iluminada con luminaria LED.

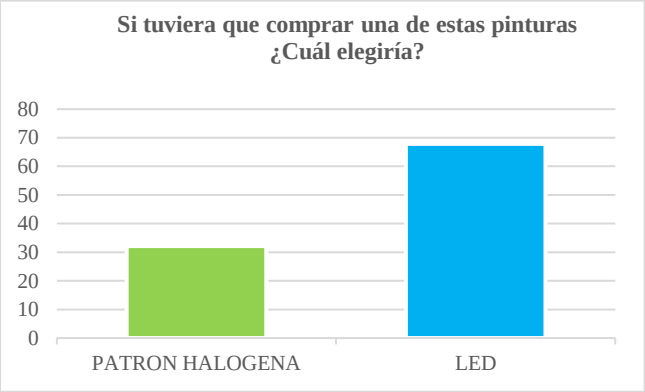


Figura 7: Si tuviera que comprar una de estas pinturas ¿Cuál elegiría?

De los resultados obtenidos, el 61% de los observadores encuentran que la pintura iluminada con luminaria LED es mucho más colorida.

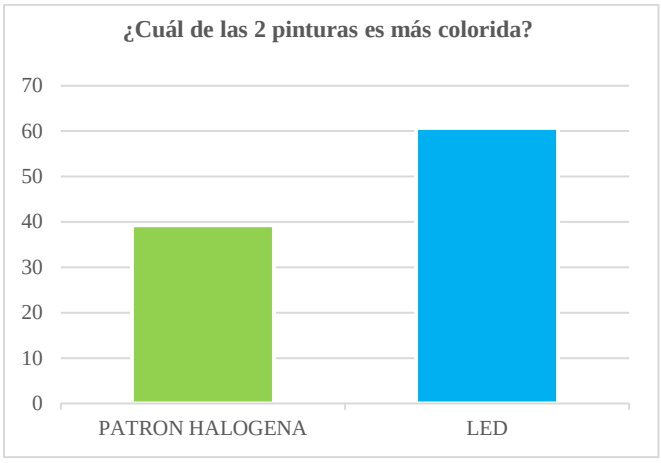


Figura 8: ¿Cuál de las 2 pinturas es más colorida?

El 89% de los observadores encuentran que el color rojo es más intenso en la pintura iluminada con la muestra patrón halógena.

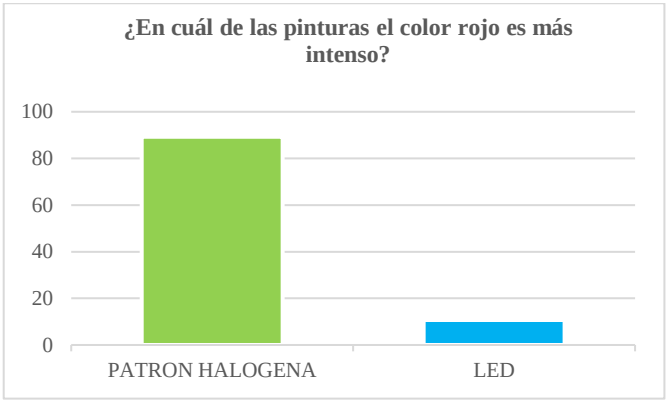


Figura 9: ¿En cuál de las pinturas el color rojo es más intenso?

El 82.9% de los observadores encuentran que el color violeta es más intenso en la pintura iluminada LED.

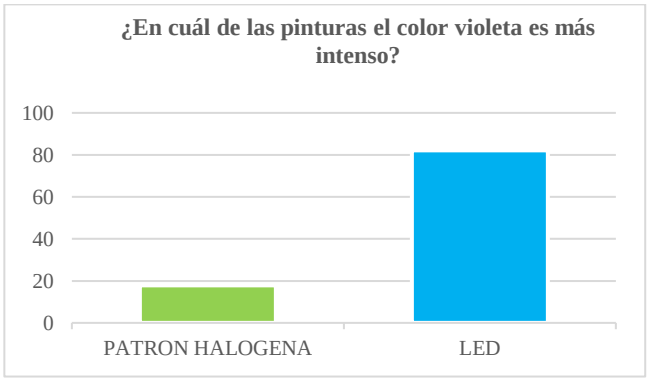


Figura 10: ¿En cuál de las pinturas el color violeta es más intenso?

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos del experimento se puede inferir que efectivamente que los sujetos tienden a preferir el LED por sobre la lámpara patrón halógena. Los valores del índice de rendimiento del color en el LED obtenidos en mediciones de laboratorio, no se relacionan directamente con las valoraciones subjetivas obtenidas por observadores.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta experiencia, es posible evidenciar que el índice de respuesta al color no se correlaciona bien con la interpretación del color visual de fuentes de bandas estrechas como es el LED.

Las mediciones que se presentan en este trabajo forman parte de una investigación que se encuentra en desarrollo. Por lo que los resultados no son concluyentes.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] CIE Technical Report 127, “Measurements of LEDs”, 2nd Edition, International Commission on Illumination, Vienna (2007).
[2] A. Villamarín, A. Ferrero, A. Pons, J. Campos, A. Rabal, M. L. Hernanz, J. L. Velázquez, A. Corróns, Distribución angular de la
intensidad radiante espectral de LEDs blancos de alta luminosidad, Instituto de Óptica Daza de Valdés. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Serrano 144, 28006 Madrid, Spain..
[3] IES LM-79-08 Electrical and Photometric Measurements of Solid – State Lighting Products, Illuminating Engineering Society, December 31, 2007.
[4] CIE N° 63-1984, “The Spectroradiometric Measurement of Light Sources”, International Commission on Illumination.
[5] Yoshi Ohno, Spectral Design Considerations for White LED Color Rendering, National Institute of Standards and Technology, 100 Bureau Drive, Gaithersburg, MD, 20899 USA.
[6] IES TM-30-15, “Método de la IES para evaluar la Reproducción Cromática de las Fuentes de Luz”. (2015).
[7] KAG Smet PhD, J Schanda PhD, L Whitehead PhD and RM Luo PhD, CRI2012: A proposal for updating the CIE colour rendering index. Received 29 October 2012; Revised 6 February 2013; Accepted 12 February 2013.
[8] Kevin Smet, Wouter R. Ryckaert, Michael R. Pointer, Geert Deconinck, Peter Hanselaer1, Colour Appearance Rating of Familiar Real Objects, 19 February 2010.
[9] M Wei MSc, KW Houser PhD, A David PhD and MR Krames PhD, Perceptual responses to LED illumination with colour rendering índices of 85 and 97.
[10] R Dangol MSc, M Islam MSc, M Hyvärimn LiSc, P Busal DSc, M Piolakka DSc and L Halonen DSc. Subjetive preferences and colour quality metrics of LED Light sources.

Do the chromatic vision deficits confirm the review of color vision mechanisms?

Abstract

The color vision and related deficit in the ability to distinguish colors have so far been explained in the scientific literature assuming that the L, M and S photoreceptors located in the retina of the human eye are sensitive to red, green and blue.

Assumptions adopted in this scientific work, formulated as the effect of the analysis of spectrophotometric measurements, differ from traditional views because they question the literality and interpretations of some of the above measurements. As a result of these observations, the following hypothesis is proposed:

- sensitivity peaks of L cones (≈576 nm) does not belong to the area of red but yellow,

- sensitivity peaks of L cones (576 nm) moreover is the average between sensitivity to two magenta stimuli: 768 nm and 384 nm (at the beginning and at the end of the visible area), therefore named in this study short magenta or magenta IR and long magenta or magenta UV.

- sensitivity peaks of M cones (540 nm) does not correspond to yellow / green, but is average between sensitivity to four cones 384 nm (short magenta) + 432 nm (cyan) + 576 nm (yellow) + 768 nm (long magenta).

In connection with the above statements, in this study it is assumed that L, M and S cones are sensitive to magenta long (768 nm), yellow (576 nm), cyan (432 nm) and magenta short (384 nm).

This assignment of the sensitivity to cones became the basis for the method of analyzing the mechanisms of color vision, which, according to the thesis of this research, are additively synthesized through the mind from these four monochromatic stimuli.

This way of creating by the mind of colors from the four monochromatic waves has been used in this research to analyze dyschromatopsia, which are the result of total or partial blindness to any of the four above-described monochromatic waves.

Preliminary assumptions

The use of spectrophotometric techniques has opened new possibilities in research on the issues of the human eye color perception. With its help, among other, the highest absorption values in the reactive frequency ranges for individual photoreceptors in the human eye have been defined, respectively [nm]: ≈ 570 - L cones (yellow), 540 - M cones (yellow-green), 430 - S cones (cyan color). [1]

The highest photoreceptors sensitivity to light waves with a length close to 570 nm belongs to the yellow area of the spectrum and yet in most texts it is confused with sensitivity to red color. [2]

According to these measurements, none of the cones are sensitive to red and purple colors and the sensitivity of M cones is approaching the sensitivity of the other two cones.

Cones sensitivity [nm]			Sources
L	M	S	
577	540	447	E. F. MacNichol, Jr.
575	540	430	G. Wald
565	535	420	J. K. Browmaker
560	530	430	D. H.Hubel
560	530	420	N. R. Carlson

Table 1. *Wave frequencies showing the highest sensitivity of human photoreceptors and their corresponding colors.*

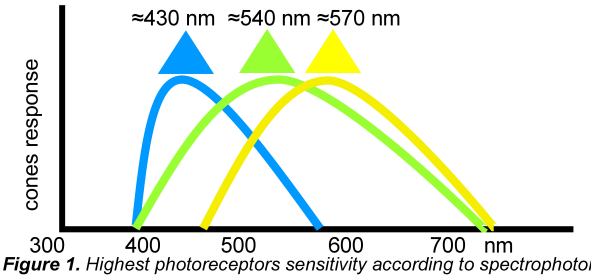


Figure 1. *Highest photoreceptors sensitivity according to spectrophotometric measurements.*

In addition, the author of this article observed:

- that the highest sensitivity values for L, M and S cones are close to the mean between the lengths of the following waves: red and green, green and indigo, red and indigo (Figure 2);

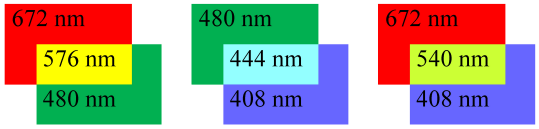


Figure 2. *Highest sensitivity values for L, M and S cones are close to the mean between the lengths of the following waves: red and green, green and indigo, red and indigo.*

- that by adopting the ranges of wavelengths obtained by this method, on which the individual human receptors are sensitive, they cannot detect the entire visible spectrum (Figure 3);

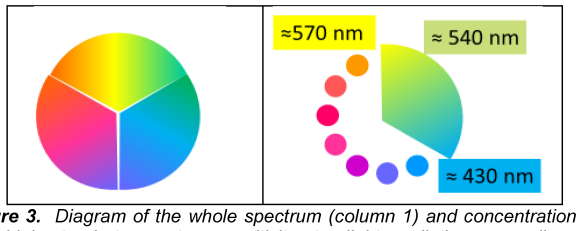


Figure 3. *Diagram of the whole spectrum (column 1) and concentration of the highest photoreceptor sensitivity to light radiation according to spectrophotometric measurements (column 2).*

- that in the studies on the ratio of quantum parameters of wave motion, the lengths of the four light waves were selected (768, 576, 432, 384 nm); these waves, despite being far from each other in terms of frequency, actually follow each other if the value of their total energy is taken as the criterion. [3]

Taking the above into account, the author proposes the following thesis:

1. The sensitivity peaks of L cones (576 nm) moreover is the average between sensitivity to yellow (576nm) and two magenta stimuli: 768 nm and 384 nm (at the beginning and at the end of the visible area), therefore named in this study short magenta or magenta IR and long magenta or magenta UV.

$$\mu = \frac{576 + 384 + 768}{3} = 576 = \mathbf{576}$$

2. The sensitivity peaks of M cones (540 nm) does not correspond to yellow / green, but is average between sensitivity to four cones 384 nm (short magenta) + 432 nm (cyan) + 576 nm (yellow) + 768 nm (long magenta). (Figure 4).

$$\mu = \frac{384 + 432 + 576 + 768}{4} = \mathbf{540}$$

3. The values of wavelengths producing the highest sensitivity of L, S and M cones correspond respectively to the following colors: yellow (576 nm), cyan (432 nm) and two magenta (768 nm and

384 nm), named for this purpose *long magenta* (768 nm) and *short magenta* (384 nm).

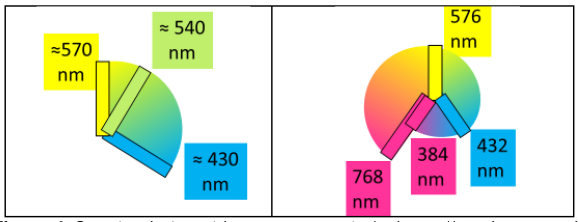


Figure 4. *Spectrophotometric measurements (column 1) and proposed hypothesis (column 2).*

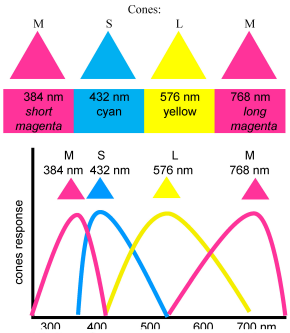


Figure 5. *Highest sensitivity of cones correspond to yellow, cyan and two magenta.*

This method of determining the value for the biggest sensitivity of photoreceptors will be referred to herein as *MYCM* (Magenta, Yellow, Cyan, Magenta).

The attribution to the L cones of the peak sensitivity in yellow has other authoritative supporters in the scientific literature. For example, the Encyclopedia of Medicine Treccani states that the "cones possess (...) three types of opsin, for which there are three populations of cones for which the photopigment has maximum absorption: one in red (more properly in yellow - orange), one in green and one in blue. "[4]

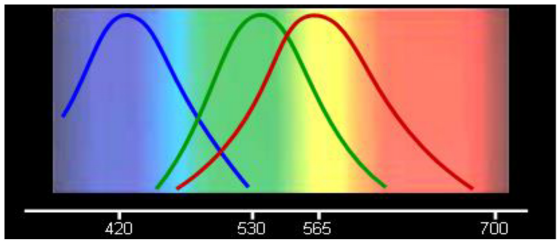


Figure 6. *Relative absorbance of cones and rods. [5]*

There are now available some texts and websites that consider the peaks of sensitivity of the cones L (≈570-590 nm) belonging to the interval of the yellow .

The novelty of this work is the identification of *short magenta* 384 nm and *long magenta* 768 nm at the beginning and end of the visible. This idea is reflected in the spectral characteristics of colorants for color photographic films that demonstrate sensitivity to magenta at the beginning and end of the spectrum. [8]

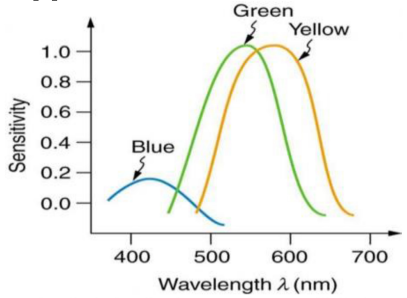


Figure 7*. Examples that give the L cones the sensitivity to yellow rather than red. [6][7]*

Multiples of frequencies as a method of organizing the system of audio-visual stimuli perception

Multiple frequencies are interpreted as equivalent in perception systems based on the differentiation of wave motion parameters. For example, sound waves with frequencies constituting a multiples of 32 Hz, i.e. 64, 128, 256, 512 Hz are interpreted as identical in sound systems and conventionally referred to as Do (C).

Similarly, we interpret light waves because two of them - *short magenta* (384 nm) and its multiple *long magenta* (768 nm) - are perceived as the same color. The four monochromatic waves that are discussed in the first paragraph are coded by the perception system as three basic colors only: cyan (432 nm), yellow (576 nm) and magenta (384, 786 nm).

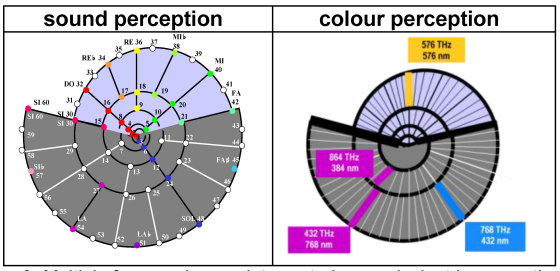


Figure 8. *Multiple frequencies are interpreted as equivalent in perception systems based on the differentiation of wave motion parameters.*

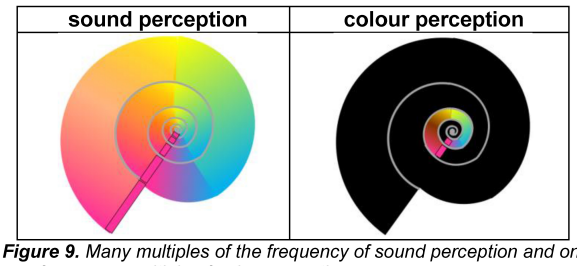


Figure 9. *Many multiples of the frequency of sound perception and only one frequency multiple of color perception.*

Two light waves - 384 and 768 nm length - are perceived as the same color because the value of the second one is twice the first, which makes them the equivalent for the perceptual system. The use of a logarithmic mechanism allows to perceive many multiples of the frequency of sound waves. The color perception occurs in the area of only one frequency multiple: from 384 nm to 768 nm.

Mechanisms of color synthesis and color deficiency

This new attribution of chromatic sensitivities to cones has become the method of analysis of color vision mechanisms which, according to the theses of this research, are synthesized additively by these four unique monochromatic waves really detected by photoreceptors: *short magenta* (384 nm) , cyan (432 nm), yellow (576 nm) and *long magenta* (768 nm). Figure 11 illustrates the composition of the colors present in the prism consisting of the multiples of the four monochrome waves.

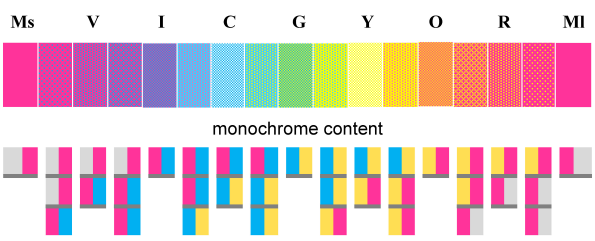


Figure 10.a. *Composition of the main colors present in the prism.*

The basic spectral tints are: short magenta (Ms) and long magenta (Ml) where only the monochromatic component is perceived. Furtherly there are the colors composed of 2 monochromatic components: orange (O), green (G) and indigo (I). Overlapping of the colors with one or two components between them produces following spectral colors, whose primitive composition is quantified:
- with 3 monochromatic components - red (R) and violet (V);
- with 4 monochromatic components - yellow (Y) and cyan (C), *short magenta* / violet (Ms / V) and red / *long magenta* (R / Ml);
- with 5 monochromatic components - violet / indigo (V / I) and red / orange (R / O);
- with 6 monochromatic components - indigo / cyan (I / C), cyan / green (C / G), green / yellow (G / Y) and yellow / orange (Y / O).

This way of composing the colors is reflected in the following curves of the spectral sensitivity of the cones:
- the sensitivity curve of the S cones ranges from ≈396 to ≈560 nm,
- the sensitivity curve of the L cones ranges from ≈440 to 744 nm,
- the sensitivity curve of the M cones ranges from 384 to 768 nm

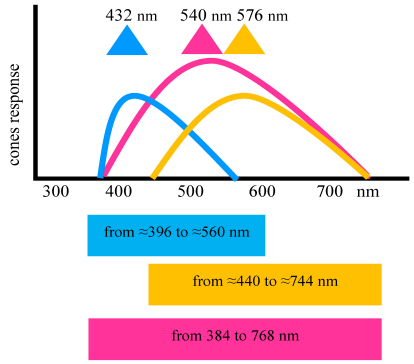


Figure 10.b. *Range of spectral sensitivity curves of cones.*

The light waves composed in the way shown in figure 10.a. influence the spectrophotometric surveys that measure the average between all the monochromatic components present in a light radiation.

This approach proved to be important in my recent study on the color vision of some species of the animal world that are distinguished by the presence of many photoreceptors, eg *Neogonodactilus oerstedii* and *Graphium Sarpedon* and in the fluorescence analysis of chlorophylls and others fluorophores used in epifluorescence microscopy.

Three different monochromatic waves present in a tint: magenta, cyan and yellow, are synthesized by the visual system generating the sensation of white. For this reason the central colors of the prism are desaturated with white, as shown in Figure 11.

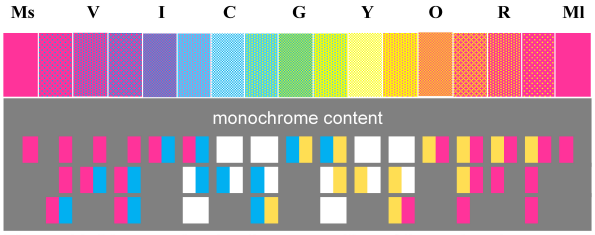


Figure 11*. Diagram showing the composition of the main colors present in the prism and of the synthesis of the white.*

This way of composing colors is particularly suitable for the analysis of dyschromatopsia, which are generated by total or partial blindness to one or more of the four aforementioned monochromatic waves absorbed by the cones. To illustrate this proposed method, the tables given in the following paragraphs, provide a demonstration of how the visible spectrum could be seen by a person affected by the vision deficit of *short magenta* (384 nm), cyan (432 nm), yellow (576 nm) and *long magenta* (768 nm), where deficient dyes are not desaturated or are desaturated with black.

Composition of the colors of the spectrum with monochromatic short magenta deficiency.

The vision deficit of *short magenta* involves the part of the spectrum between *short magenta* and green. Figure 12 illustrates the color composition of this part of the spectrum due to a 50% decrease in the short magenta component.

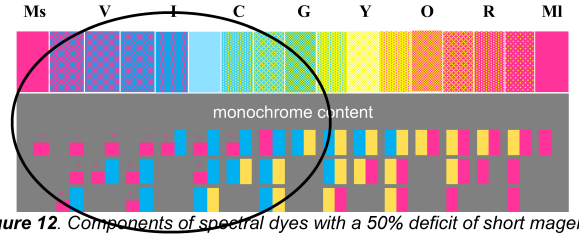


Figure 12*. Components of spectral dyes with a 50% deficit of short magenta.*

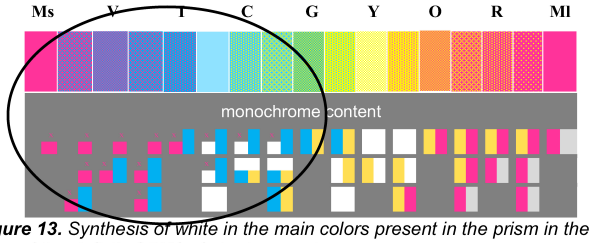


Figure 13. *Synthesis of white in the main colors present in the prism in the case of the deficit of 50% of short magenta.*

The vision deficit of the short magenta component is manifested by the confusion between cyan - green, between blue - cyan and between indigo and blue.

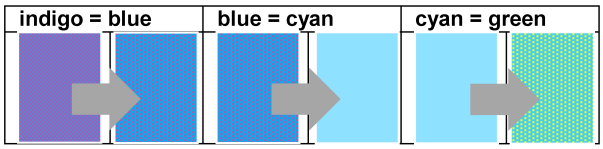


Figure 14. *Confusion of colors characteristic of short magenta deficit.*

From the test elaborated for this research it was found that a group of color blinds describes the first Greek letter of the box a of figure 16 as a blue letter on a green background and the second letter of the same box as a purple letter on the blue background. These answers are not intuitive but become understandable when interpreted with the *MCYM* method.

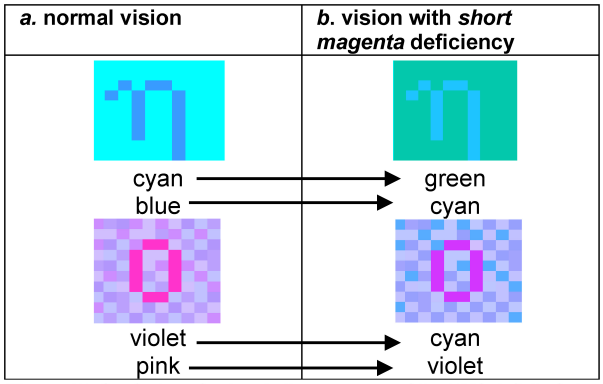


Figure 15. *Confusion of colors in the presence of the 50% deficit of short magenta.*

Composition of the colors of the spectrum with deficit of the cyan 432 nm and *long magenta* 768 nm

The perception deficit of cyan 432 nm is treated in this article together with the *long magenta* 768 nm deficit because in the cases identified with the *MCYM* test these two deficits occur very often together.

Cyan and *magenta long* perception deficits deform the color vision of practically the whole visible spectrum since, according to the method described in this work, these monochromatic waves are primary elements of the synthesis of all spectral hues, as the figures 17 and 18 illustrate.

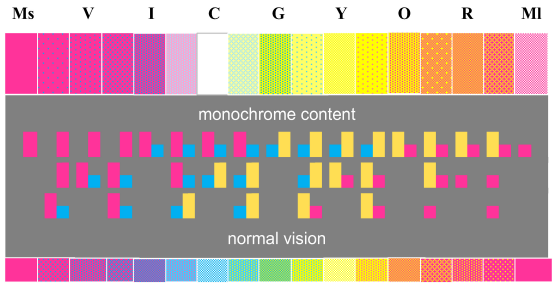


Figure 16. *Composition of the main colors present in the prism in the presence of the perception deficit of the monochromatic cyan (432 nm) and monochromatic long magenta (768 nm).*

In the tests performed we note that in the magenta long perception deficit this color it is practically always desaturated with black with quantities smaller or similar to the deficit. The same "compensation" mechanism is less frequent in the cyan vision deficit. Figure 18 illustrates the deformation of the spectral tints in the first case.

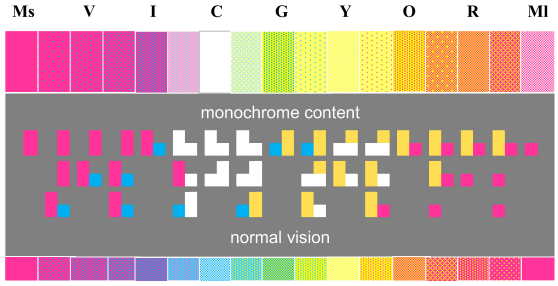


Figure 17. *Composition of the main colors present in the prism and white synthesis in the presence of the perception deficit of the monochromatic magenta long and cyan.*

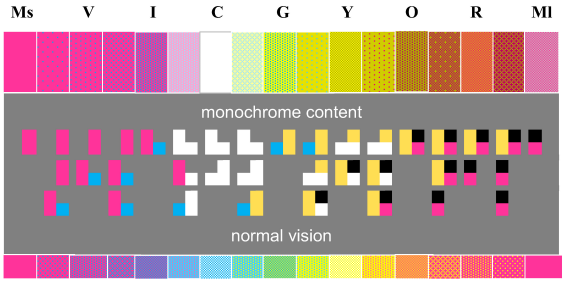


Figure 18*. Composition of the main colors present in the prism and white synthesis in the presence of the perception deficit of the monochromatic cyan and monochromatic magenta long desaturated of black.*

The vision deficit of the cyan component is manifested by the confusion between: violet - fuchsia, indigo - violet, blue - pink, cyan - white, turquoise - aqua green and green / yellow - yellow.

From the diagnostic point of view the uncertainties between: blue - pink, cyan - white or gray and between green / yellow - yellow characterize the vision deficit of the cyan component.

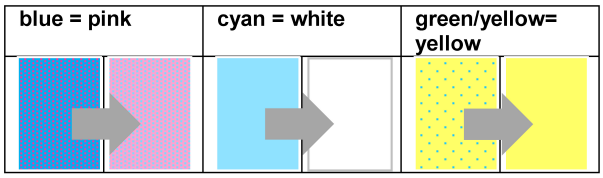


Figure 19. *Confusion of colors typical of monochromatic cyan deficiency.*

In the confusion between blue and pink, the education of color vision plays an important role. A person with impaired vision of monochromatic cyan perceives blue as pink but knows that sometimes the color perceived by him as pink, the other humans call it blue. So his description of blue and pink is contradictory.

An effective example of the confusion between blue and pink is found in the test of a person who describes the following consecutive letters as pink.

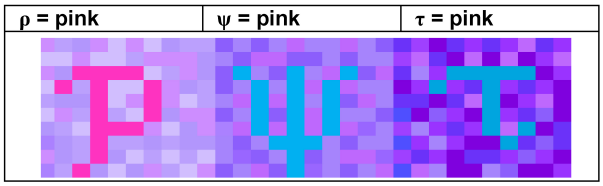


Figure 20. *Confusion between blue and pink in the cyan deficit.*

Another key to identifying the cyan vision deficit is the confusion between green / yellow - yellow and between cyan - white.

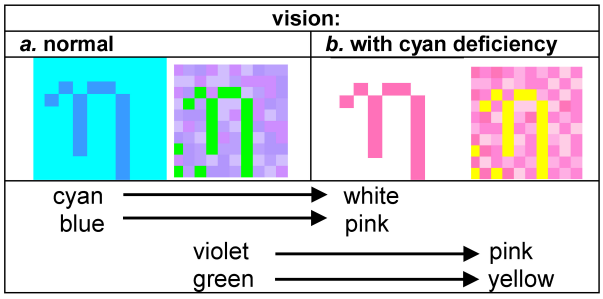


Figure 21. *Typical confusion between the colors in the cyan deficit.*

The deficit of vision of the *long magenta* component from a diagnostic point of view, is characterized by the confusion between orange and yellow with green and ocher and between reds with browns.

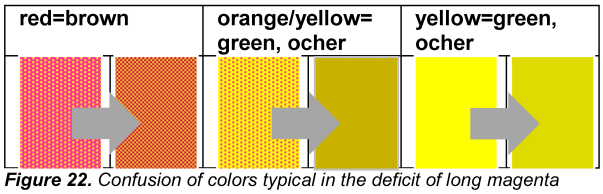


Figure 22. *Confusion of colors typical in the deficit of long magenta monochromatic.*

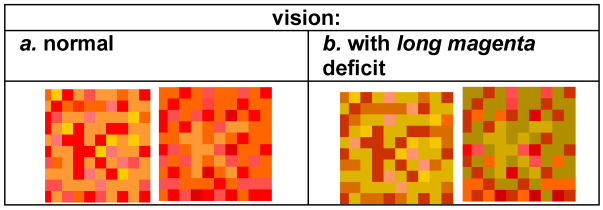


Figure 23. *Confusion between red and green in the long magenta deficit.*

Note that the green shades shown in Figures 23 and 24 were obtained from the desaturation of yellow with black. It is an interesting aspect of the synthesis of these two colors because it explains one of the causes of the confusion between red and green. In the anomaly of the perception of *long magenta*, which together with the yellow composes the colors from yellow / orange to the deep red, the *long magenta* component is

subtracted from the color and replaced with black. In this way colors composed of yellow and black are generated which are synthesized by the brain shades of green. The figure below shows a rectangle whose color has been produced by the yellow + black mixture placed over a red, blue and purple background.

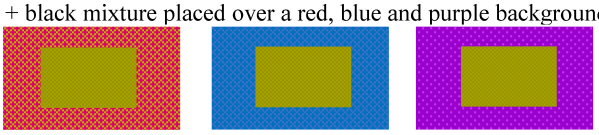


Figure 24. *Confusion between desaturated yellow with black and green.*

Brief considerations on the traditional division of dyschromatopsia into protanopia, deuteranopia and tritanopia.

With the method of this research a very precise indication of photoreceptors which are not working and their approximation in percentage becomes possible. The subdivision in protanopia, protanomaly, deuteranopia, deuteranomaly, tritanopia and tritanomaly in light of this work appears generic and confused as it is shown later where the comparison is made between the tables that indicate the vision of the protanope, deuteranope and tritanope and the tables in whose color vision deficits are analyzed with the synthesis mechanisms of the four components: *short magenta*, cyan, yellow and *long magenta*.

Protanopia

Protanopia is defined as "congenital alteration of the chromatic sense, with an inability to perceive the red color." [9] Or ”ocular disorder that is a form of dichromatism characterized by absence of the red sensitive pigment in cones, decreased luminosity for long wavelengths of light, and confusion in recognition of red and green.”[10]



Figure 25. *The spectrum seen from the protanope.* [11] [12] [13]

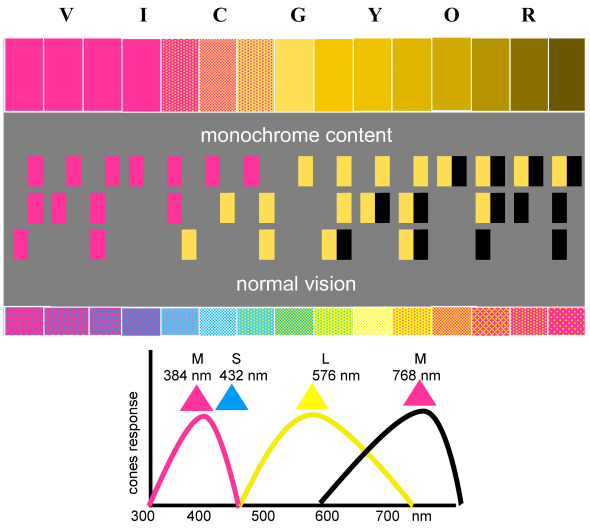


Figure 26. *The spectrum has no cyan (without desaturation) and long magenta (desaturated with black) monochromatic components.*

"In the spectrum seen by the person affected by the protanopia (.....), the purple is confused with the blue". [9] The blue in Figure 26 is therefore a completely arbitrary choice. From the results of the test carried out in this research it turns out that people with impaired vision of cyan monochrome see the part of the spectrum of blue-violet as a pink shade (similar to subtractive magenta).

The visualization of the chromatic sense of the protanope (figure 25), indicates not the blindness to the red but rather to a component of the red considering that the chromatic zone the protanope sees yellow + black. Furthermore, from the analysis of the above figure it clearly appears that the area of the greens is also perceived by the protanope as yellow + black. These two circumstances are understandable by admitting that the protanope is blind person with two components of white light:

- to the *long magenta* component (768 nm) present in spectral colors from deep red to green (the yellow component remains desaturated with black),
- to the cyan component (432 nm) present in the spectral colors from yellow / orange to violet (the yellow component remains).

Figure 26 also shows us that in the shades of the spectrum from deep red to indigo we always find the yellow component, confirming the thesis that the colors of the spectrum are composed only of four monochromatic waves actually detected by photoreceptors: short magenta 384 nm , cyan 432 nm, yellow 576 nm and magenta long 768 nm.

Deuteranopia

Deuteranopia is “a congenital abnormality of the retina in which there are two rather than three retinal cone pigments (dichromatism and complete insensitivity to middle wavelengths (green).”[10]

The visualization of the chromatic sense of the deuteranope (figure 27), indicates deficits of the perception of color much more complex and articulated than the only insensitivity to green. As in the case of protanopia in the colors of the spectrum from indigo to deep red, the area of yellow is observed. This indicates the absence of cyan and magenta long components, but desaturated with black in a different way. In the spectrum of deuteranope a deficit of perception of short magenta with black desaturation is also visible. From the spectra analysis it is not understandable the distinction between protanope as incapable of perceiving red and deuteranope as insensitive to green. In both cases the reds are not distinguished from the greens, only the desaturation of the yellow component changes, the only one perceived in both cases.



Figure 27. *The spectrum seen by the deuteranope. [11] [12] [13]*

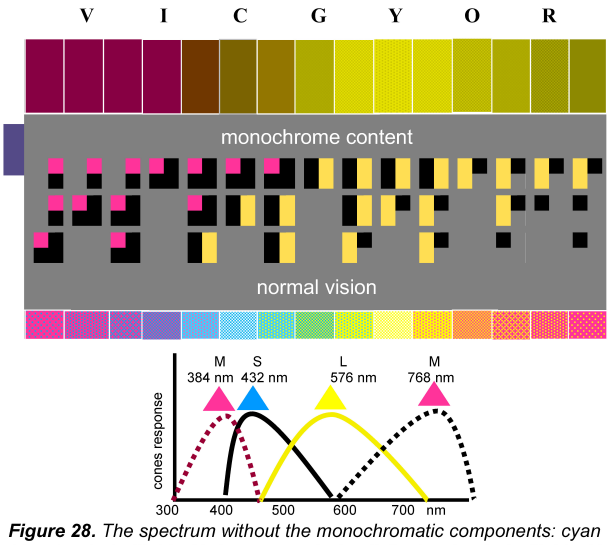


Figure 28. *The spectrum without the monochromatic components: cyan (desaturated with black), long magenta (partially desaturated with black) and with short magenta deficiency (desaturated with black).*

Tritanopia

Tritanopia is defined as “deficient color perception in which there is an absence of blue-sensitive pigment in the retinal cones.” [10]



Figure 29. *The spectrum seen from the tritanope. [11] [12] [13]*

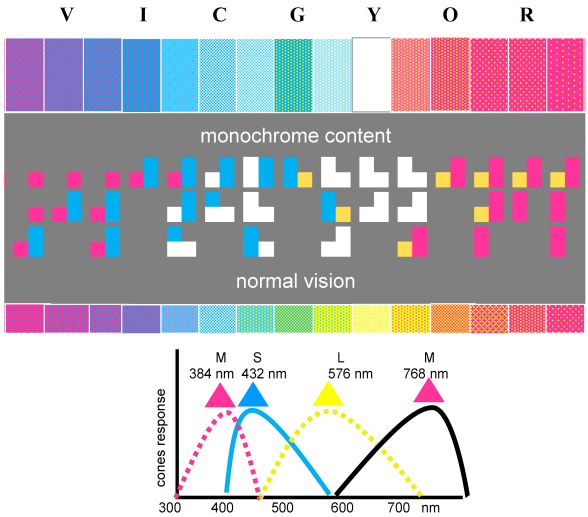


Figure 30. *The spectrum with 50% deficit of the yellow and short magenta monochromatic components.*



Figure 31. *The spectrum seen from the tritanope. [14]*

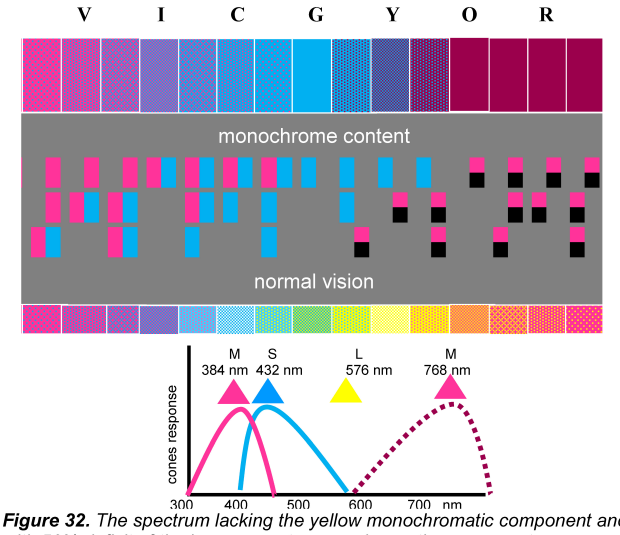


Figure 32. *The spectrum lacking the yellow monochromatic component and with 50% deficit of the long magenta monochromatic component (desaturated with black).*

In the spectra that illustrate the vision of the tritanope (figures 29 and 31) the deficit of yellow (figure 29) or blindness to yellow is evident (figure 31). But despite this evidence the aforesaid chromatic sense deficit is interpreted as the absence of the blue-sensitive pigment in the cones. This example makes us to reflect not only on the inaccuracy of knowledge on the subject of color vision but also on the tendency of researchers to include the results of their research in the scheme of the "official" theory that assigns to the cones the sensitivity to red, green and blue despite the experimental evidence. With this logic the problems with red were assigned to the protanope, to the deuteranope with the green and to the tritanope with the blue.

The presence of indigo / blue instead of the yellow in figure 32 is the best example to conclude this article because it demonstrates the validity of the thesis announced in this article that the colors of the spectrum are generated by the synthesis of the 4 monochromatic components of white light realy perceptible from the cones: *short magenta* 384 nm, cyan 432 nm, yellow 576 nm and *long magenta* 768 nm. According to this method the yellow of the spectrum is composed of the following components: cyan + yellow + yellow + magenta which in the synthesis generate white + yellow. The tritanope does not see the two components yellow therefore it perceives the indigo originating from the synthesis between the remaining two components of the spectral yellow. (Figure 33).

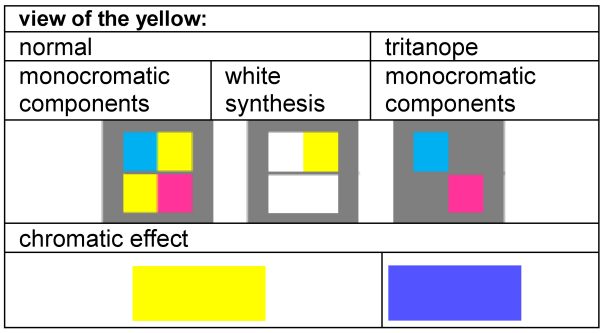


Figure 33*. View of yellow: normal and tritanope.*

Figures 25-32 prove the correspondence between the light spectra seen by the color-blind experimentally elaborated with the spectra obtained through dosages among the four hypothesized components of light (*short magenta* 384 nm, cyan 432 nm, yellow 576 nm, *magenta long* 768 nm). This coincidence shows that the colors we see are syntheses generated by these four wavelengths actually detected by human photoreceptors.

References

[1] Compare http://uniroma2.it/wpcontent/uploads/2010/04/

[2] A. Stockman, D. H. Brainard, “”, In M. Bass, C. DeCusatis, J. Enoch, V. Lakshminarayanan, G. Li, C. Macdonald, V. Mahajan, E. van Stryland (Eds.), *The Optical Society of America Handbook of Optics, 3rd edition, Volume III: Vision and Vision Optics*, McGraw Hill New York 2010.

[3] J. Niewiadomska-Kaplar, *Fluttuazione della velocità del moto ondulatorio*, Aracne, Roma 2018.

[4] http://www.treccani.it/enciclopedia/fototrasduzione/

[5] https://e-cours.univ- paris1.fr/modules/uved/envcal/html/compositions-colorees/2-lumiere-visible-couleurs/3-3-vision-couleurs.html

[6] https://courses.lumenlearning.com/physics/chapter/26-3-color-and-color-vision/

[7] Compare A. Valberg, *Light Vision Color*, John Wiley & Sons, Hoboken 2006.

[8] Compare V. F. Weisskopf, *L’interazione della luce con la materia*, in A. Frova (a cura di), *Le Scienze*, quaderno 78, (Milano 1994) p.13.

[9] http://www.treccani.it/enciclopedia/protanopia/

[10] Medical Dictionary for the Health Professions and Nursing, (Farlex 2012).

[11] Compare http://wdweii.pollub.pl/wp-content/uploads/2016/04/WDWEII_Laskowski-v2.pdf

[12] Compare http://scienzaericerca.unisr.it/2017/03/16/enchroma-le-lenti-che-potrebbero-restituire-i-colori-ai-daltonici/

[13] Compare S. De Pietro (a cura di), *Quando le barriere sono i colori*, Come vedono i daltonici, Genova 2016.

[14] http://www.crrtiv.com/

Análisis de la sensibilidad al contraste cromático en pacientes con lente intraocular con filtro para longitudes de onda corta.

Mari Carmen García-Domene[1,2*], María Amparo Díez[1], María José Luque[1], Dolores de Fez[3], José María Artigas[2], Cristina Peris Martínez[1]

[1]*FISABIO-Oftalmología Médica (FOM), Valencia*

[2]*Departamento de Óptica y Optometría y Ciencias de la Visión, Universidad de Valencia. Burjassot (Valencia)*

[3]*Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía. Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig (Alicante)*

1. Introducción

La formación de catarata en el cristalino humano con la edad produce cambios en la percepción de color más acusados en condiciones mesópicas. Algunos estudios clínicos han comprobado que estos pacientes recuperan prácticamente la visión de color normal unos meses después de la cirugía de extracción de catarata y el posterior implante con lente intraocular transparente, siendo los beneficios más significativos en las bandas de color correspondientes al espectro entre 470 nm y 580 nm [1,2].

En los últimos años los cirujanos están implantando lentes intraoculares (LIO) con filtro para las longitudes de onda corta con el fin de aumentar la protección retiniana [3]. Cuando se incorpora un filtro amarillo en lente oftálmica puede mejorar los contrastes acromáticos bajos aunque puede provocar una disminución general de luminosidad y por otro lado causan variación de la discriminación cromática produciendo defectos de tipo tritán [4]. Estudios realizados con pacientes intervenidos de catarata con implante de lente intraocular amarilla muestran que la agudeza visual y la sensibilidad al contraste acromático no es diferente entre lentes con o sin filtro [3,4,5]. El mecanismo cromático azul-amarillo (D) se ve afectado con la lente con el filtro para luz azul y no se produce ningún deterioro con el filtro transparente. [4]

A pesar de que en la literatura se verifica que se producen ciertos cambios en la percepción del color al implantar una lente con filtro amarillo, no hemos encontrado estudios en los que se analicen las funciones de sensibilidad al contraste cromático (CSFc) en este tipo de pacientes. En este estudio se pretende analizar las diferencias en las CSFc rojo-verde (T) y azul-amarillo (D) cuando se implantan lentes con filtro a las longitudes de onda corta y cuando la lente intraocular implantada no presenta filtro para el rango visible.

2. Metodología

En el estudio hemos incluido pacientes implantados con dos tipos de lentes intraoculares asféricas. La principal diferencia entre estas lentes es el material. La lente natural SN60AT (Alcon Laboratories, Inc. Fort Worth, Texas) tiene un filtro que le da un tinte amarillo (IOLa), mientras que (CT Asphina 409M, Zeiss, Jena, Germany) es una lente intraocular transparente por lo que no presenta filtro en el rango visible (IOLt).

Previo al estudio con pacientes se analizó el filtro de las lentes intraoculares midiendo su transitancia espectral siguiendo la normativa ISO (ISO 11979-2:2014(en) Ophthalmic implants- Intraocular lenses-Part 2: Optical properties and test methods) utilizando el espectrorradiómetro PerkinElmer Lambda 800 UV/VIS (Waltham, MA) para medir el rango visible desde 380 a 800 nm.

El estudio se adhiere a los principios de la Declaración de Helsinki para la Investigación con Sujetos Humanos. Todos los pacientes dieron su consentimiento firmado e informado.

Se incluyeron 40 pacientes que padecían cataratas de carácter senil; no presentaron retinopatías ni ninguna otra patología ocular ni de ningún otro tipo que pudiera afectar los resultados. Los siguientes sujetos fueron excluidos del estudio: Pacientes con anomalías o guttas en su recuento endotelial. Pacientes sometidos a tratamiento ocular de cualquier naturaleza durante al menos 1 mes antes del comienzo del estudio o que habían estado tomando medicamentos que podrían producir somnolencia: antihistamínicos,

* *e-mail*: m.carmen.garcia-domene@uv.es

etc., o con antecedentes de adicción a las drogas o alcoholismo. Pacientes con anomalías en la percepción del color.

Técnica quirúrgica: Ambos tipos de LIO se implantaron con anestesia peribulbar para aplicar la técnica. La técnica utilizada en ambos casos fue el phaco-chop, con el sistema Infinity (Platform Alcon®, Inc. Fort Worth Texas, EE. UU.). Todos los pacientes recibieron tratamiento antibiótico postoperatorio y corticoides tópicos durante 4 semanas a una dosis que disminuyó gradualmente (tobramicina + dexametasona; Tobradex Ophthalmic Suspension, Alcon laboratoris,inc. Fort Worth, Texas).

Las pruebas se realizaron de forma monocular. Todos los pacientes fueron examinados al mes de la cirugía y se les realizaron las siguientes pruebas:

-Revisión del fondo de ojo y estructuras oculares con biomicroscopio.

-Compensación óptica para obtener la mejor agudeza visual.

-Topografía corneal (con pentacam®). Para evaluar posibles patologías corneales y cambios en la morfología corneal producidos en la cirugía.

-Test Farnsworth Munsell de 100 tonos para evaluar pérdidas de discriminación cromática.

-Medición del CSFs cromáticas con el analizador ATD de Doble Modulación mediante el análisis de la sensibilidad al contraste cromático de los mecanismos T (Parvocelular; oponente rojo/verde) y D (Koniocelular; oponente azul-amarillo) utilizando el modelo de color ATD de Guth95[6]. La Prueba Funcional Multicanal ATD ha sido descrita detalladamente por Antón y colaboradores [7].

Los estímulos se generaron en un monitor CRT Mitsubishi HL7955SKTKL, de 32 pulgadas a 125 Hz, controlado por una tarjeta VSG5 de 14 bits (Cambridge Sistemas de Investigación, Rochester, Reino Unido). Las mediciones fueron realizadas en una habitación oscura. Los pacientes debían fijar la mirada en una cruz negra central de 0,5 grados de ancho durante toda la sesión. Se evaluó la sensibilidad al contraste con sinusoides cuadradas de 5x5º. La pantalla estaba colocada a 50 cm del paciente que llevaba una adición de +2.00 D para evitar la acomodación. El sujeto fue instruido para que presionara un botón si percibía alguna variación del fondo. El umbral al contraste fue determinado por un método de escalera para frecuencias espaciales: 0.5, 1, 2, 4 y 8 cpg.

3. Resultados

La transmiatncia espectral medida puede verse en la Fig. 1, para la LIOt el rango de máxima transmitancia (>90%) es en todo el rango del visible mientras que para la LIOa es de 500 a 800 nm.

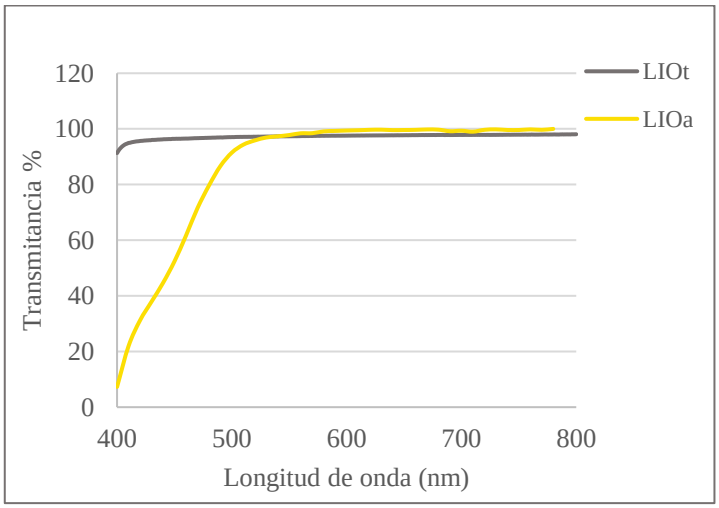


Figura 1. Transmitancia espectral en el rango visible para las dos lentes intraoculares implantadas transparente LIOt y amarrilla LIOa

La lente transparente se implantó en 20 ojos de pacientes con edad media 73±9 años y la lente amarilla en otros 20 ojos de pacientes con 76±5 años. La AVdecimal corregida fue de LIOt 1±0.2 y de 0.9±2 para LIOa no siendo estadísticamente diferentes ($p>0.05$). La puntuación del test Farnswoth Munsell fue de 190±77 para pacientes implantados con LIOt y de 196±87 para el grupo de LIOa, siendo la puntuación de 4 pacientes fuera de los rangos normales para su edad y tenían una puntuación mayor en colores azules y amarillos, estos resultados no fueron estadísticamente significativos ($p>0.05$).

Como muestra la Fig. 2, los mecanismos T y D son pasa baja excepto para el mecanismo T medido con la lente amarilla que es pasa banda. El mecanismo T es ligeramente más sensible que el mecanismo D a partir de 1cpg ($p_{0,5cpg}=0,6$; $p_{1cpg}=0,02$; $p_{2cpg}=0,002$; $p_{4cpg}<0,000$; $p_{8cpg}=0,05$).
Si comparamos los resultados obtenidos con ambas lentes al mes de la cirugía, no encontramos diferencias significativas para ninguna de las frecuencias analizadas y para ninguno de los mecanismos cromáticos ($p>0.05$).

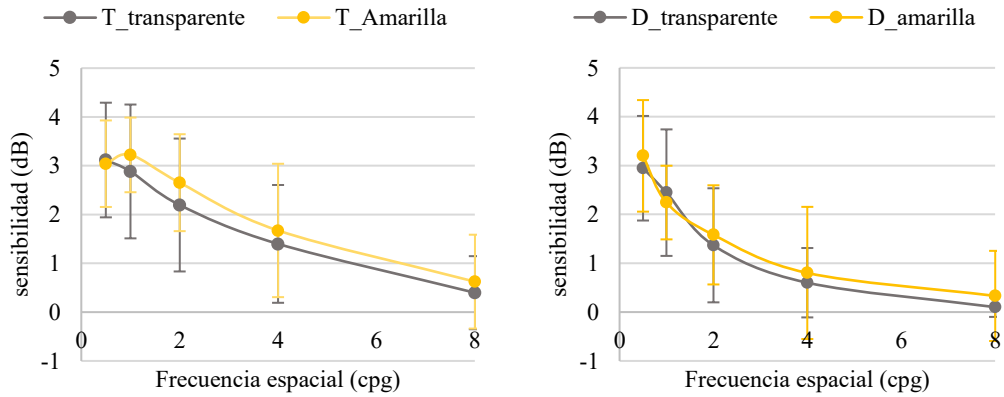


Figura 2. Comparación de las funciones de sensibilidad al contraste cromático para el mecanismo rojo-verde (T, izquierda) y azul-amarillo (D, derecha) en pacientes implantados con lente intraocular transparente y con lente amarilla.

4. Conclusiones

Hemos medido la transmitancia de dos lentes intraoculares, una sin filtro para el rango visible y otra con filtro para las longitudes de onda corta. La lente con filtro, absorbe más del 10% de la luz que llega al ojo en el rango de 400 a 500nm mientras que la otra transmite más del 10% en todo el rango visible. Además, en este estudio, se han analizado los resultados para las funciones de sensibilidad al contraste cromáticas en 40 pacientes implantados con lente intraocular transparente o amarilla un mes tras cirugía de cataratas. En la comparación no hemos encontrado diferencias significativas en las CSFc ni para el mecanismo rojo-verde ni para el azul-amarillo. La forma del mecanismo T de los pacientes con la lente amarilla se asemeja más a la del mecanismos acromática con una forma pasa banda y no pasa baja como ocurre con la lente transparente [5], hecho que podría estar enmascarando estos resultados, sería conveniente utilizar un test de color adaptable a la sensibilidad de cada paciente para aislar mejor al mecanismo T y evitar detectar el estímulo gracias al mecanismo acromático.

5. Agradecimientos: Agradecemos el apoyo de la cátedra Alcon-FISABIO-Universitat de València

6. Bibliografía

[1] P.B. Delahunt, M.A. Webster, L. Ma, J.S. Werner. “Long-term renormalization of chromatic mechanisms following cataract surgery”, Vis Neurosci, **21**(3), p. 301–307 (2004)

[2] Mingxin Ao, Xuemin Li, Weiqiang Qiu, Zhiqiang Hou, Jie Su, and Wei Wang. The impact of age-

related cataracts on colour perception, postoperative recovery and related spectra derived from test of hue perception. BMC Ophthalmol. 2019; 19: 56.

[3] Downie LE1, Busija L, Keller PR. Blue-light filtering intraocular lenses (IOLs) for protecting macular health. Cochrane Database Syst Rev. 2018 May 22;5:CD011977

[4] de Fez MD[1], Luque MJ, Viqueira V. Enhancement of contrast sensitivity and losses of chromatic discrimination with tinted lenses. Optom Vis Sci. 2002 Sep;79(9):590-7.

[5] Díez-Ajenjo MA, García-Domene MC, Peris-Martínez C, Artigas JM, Felipe A (2014) Effect of the color of the intraocular lens on optical and visual quality. Indian J Ophthalmol 62:1064–1068

[6] Guth SL. Further applications of the ATD model for colour vision. Proc SPIE—Int Soc Opt Eng 1995;2414:12–26

[7] Anton A, Capilla A, Morilla-Grasa A, Luque MJ, Artigas JM, Felipe A. Multichannel functional testing in normal subjects, glaucoma suspects and glaucoma patients. Invest Ophtalmol Vis Sci. 2012;53(13):8386–8395.

Utilización del patrón de color RGB para medida de deformaciones mecánicas en 3D

Luis Felipe-Sesé[1*], Elías López-Alba[2], Ángel Molina-Viedma[2], Juan Antonio Almazan[2], Philip Siegmann[3], Francisco A. Díaz [2]

[1]*Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera. Campus Científico Tecnológico de Linares. Universidad de Jaén.*

[2] *Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera. Campus Las Lagunillas (Jaén). Universidad de Jaén.*

[3] *Departamento: Teoría de la Señal y Comunicaciones. Campus científico-tecnológico Universidad de Alcalá*

1. Introducción

Actualmente existen numerosas aplicaciones de ingeniería que requieren de la medida de desplazamientos y deformaciones las tres direcciones espaciales, tal es el caso de ensayos para la determinación de parámetros mecánicos, análisis de vibraciones, impactos, controles de calidad de fabricación o monitorización de defectos, entre otros. Una de las técnicas que mejor solventan estas necesidades es la denominada Correlación Digital de Imágenes (DIC) [1,2], pudiendo encontrar la variante bidimiensional y tridimensional (2D-DIC) y (3D-DIC). El único requerimiento de estas técnicas es que la superficie del elemento estudiado debe presentar un patrón de pequeñas motas distribuidas aleatoriamente, comúnmente denominado speckle. Esta técnica es la más extendida para la medida de desplazamientos en la superficie del elemento estudiado ya sea en el plano (direcciones *x*- e *y*- mediante 2D-DIC) como fuera de éste (en dirección *z*- adicionalmente con 3D-DIC). Para ello recurre a la captura de imágenes mediante cámaras digitales, las cuales seguidamente son procesadas mediante algoritmos de correlación que permiten hacer un seguimiento de la posición los diferentes puntos de la superficie del elemento. Debido a eso, presenta una gran versatilidad sobre el rango de aplicación en función del campo de visión empleado. Además, puede ser empleada en aplicaciones estáticas o dinámicas, adecuando la tasa de captura de imágenes. En el caso de 3D-DIC, se requiere un sistema estereoscópico de cámaras. No obstante, esto requiere que las cámaras estén perfectamente sincronizadas, un complejo procedimiento de calibración y de una alta cantidad de recursos computacionales [1]. Esto implica una mayor complejidad del montaje experimental y del procesado, requiriendo softwares comerciales, lo cual conlleva repercusiones económicas más notables cuando se precisan cámaras de alta velocidad. Por otra parte, Proyección de Franjas (FP) [3,4] es otra técnica basada en la captura de imágenes mediante cámaras digitales para la medida de formas en tres dimensiones. Presenta un montaje experimental muy similar a 2D-DIC, una cámara dispuesta perpendicularmente a un plano de referencia, a lo que debe añadirse un proyector de franjas oblicuo al eje de la cámara. Por lo tanto, la integración de ambas técnicas para la medida de desplazamientos en el plano y fuera de éste disminuiría el coste y la complejidad del montaje experimental y del procesado en comparación con DIC-3D. Esta integración ha sido previamente propuesta por diversos autores [5–8]. Pese a ello, no se ha encontrado ninguna metodología específica que pueda emplearse como alternativa a DIC-3D, siendo necesario emplear lentes telecentricas debido a que los desplazamientos medidos en x- e y- sufren una cierta distorsión cuando existen desplazamientos o formas en 3D [8]

En este trabajo se emplea un nueva metodología desarrollada previamente por los autores [9–11] para la integración de éstas técnicas (FP+2D-DIC) basada en la codificación de patrones por color, empleando para ello una cámara RGB. Adicionalmente, para solventar la distorsión de desplazamiento en *x*- e *y*-, se ha recurrido a una corrección basada en un modelo de lentes pin-hole, simplificando enfoques anteriores.

2. Metodología Experimental

Como se ha comentado, se precisa obtener una imagen en la que sólo aparezca un patron de franjas para poder procesar FP y otra diferente mostrándo sólo un patron de manchas speckle para ser procesado empleando algoritmos de DIC-2D. Ambas imágenes deben capturarse en el mismo instante para poder

* *e-mail*: lfelipe@ujaen.es

representar el mismo estado de deformación. Para obtener estos dos patrones simultáneamente, se recurre a la codificación por colores RGB [7] (Figura 1).

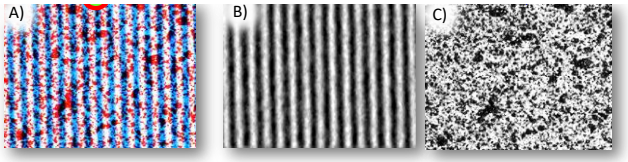


Figura 1 Proceso de descomposición de imágenes RGB A) Imagen original. B) Imagen de franjas C) Imagen de speckle

Las franjas azules proyectadas observadas en el canal rojo tienen un perfil de intensidad sinusoidal. Los desplazamientos fuera del plano se miden con respecto a la superficie plana de referencia, en la que las franjas proyectadas son paralelas y equiespaciadas con un paso *P*. Por lo tanto, los deplazamientos Δz (fuera de plano), son proporcionales al desplazamiento lateral de las franjas (medido como un desfase $\Delta\varphi$) cuando el objeto se deforma[10][12]. Este fase medida, envuelta entre $-\pi$ y π, precisa deun proceso denominado unwrapping para obtener un mapa de fase continuo[13][14]. Por otro lado, las imágenes del patron speckle observadas en el canal azul han sido procesadas empleando un software comercial denominado VIC 2D (Correlated Solutions Inc.).

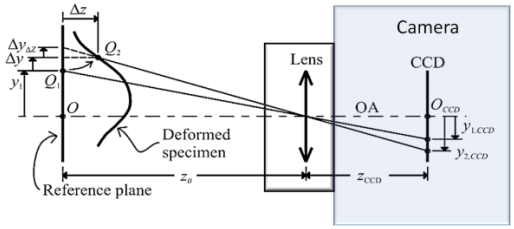


Figura 2 Ilustración esquemática mostrando el error en el procesamiento de DIC-2D cuando el elemento estudiado experimenta un desplazamiento fuera de plano durante la deformación.

Sin embargo, como se comentó, los resultados de los desplazamientos medidos en el plano por DIC-2D estan distorsionados cuando el elemento no es plano o experimenta desplazamientos fuera de plano. Esta distorsión es ilustrada en el modelo pin-hole de la Figura 2 cuando un punto de la superficie es desplazado desde Q_1=(x_1,y_1,0) a Q_2=(x_1+Δx, y_1+Δy,Δz). En la Figura 2 se observa que los desplazamientos medidos en el plano del sensor CCD de la camara no se corresponden con los reales sino que existe un desplazamiento virtual en el plano debido al desplazamiento fuera de plano ($\Delta x_{\Delta z}$,$\Delta y_{\Delta z}$). Por lo tanto, a los deplazamientos medidos en el plano del sensor por DIC-2D (Δx_{CCD} y Δy_{CCD}) se le debe de substraer estos desplazamientos virtuales [8]. Así, el valor de los desplazamientos reales se obtienen a partir de la ecuaciones (1) y (2), siendo Δz el desplazamiento fuera de plano medido por FP, *L* la magnificación lateral en mm/px a una distancia z_0 entre la superficie de referencia y el centro optico de la lente. Para determinar estos parámertros, se publicado previamente un procedimiento de calibración [10].

$$\Delta x = L\left[\Delta x_{CCD} - x_{2,CCD}\frac{\Delta z}{z_0}\right] \quad (1)$$

$$\Delta y = L\left[\Delta y_{CCD} - y_{2,CCD}\frac{\Delta z}{z_0}\right] \quad (2)$$

3. Aplicaciones

3.1. Ensayos de vibración.

La metodología descrita previamente se ha empleado para analizar los desplazamientos que sufre un elemento industrial cuando sufre una excitación senoidal periódica a su primera frecuencia de resonancia. En concreto, el elemento estudiado fue un elemento rigidizador del interior del capó de un coche de unas medidas aproximadas de 1,7 x 0.6 m. El ensayo realizado fue de tipo free-free, por lo que el elemento estaba suspendido mediante dos cables de reducida rigidez (Figura 3 B) y es excitado por su parte inferior, a través de una varilla de reducida rigidez, con un elemento vibrador o Shaker (Figura 3 C). Así, el elemento vibrará con una forma modal pura, sin aporte externo de rigidez. La cámara empleada fue una cámara de alta velocidad Photron SA-3 empelando una lente de 28mm recogiendo 500 imágenes por segundo. Por otro lado, el proyector fue un Epson X11 proyectando una rejilla azul de 20mm/franja. La frecuencia de resonancia del elemnto estudiado se halló empleando un vibrómetro láser. Este vibrómetro recoge la respuesta del elemento estudiado cuando es impactado mediante un martillo y permite determinar las frecuencias a las que tiende a vibrar el capó. El primer modo de resonancia se encuentró a 10.25Hz.

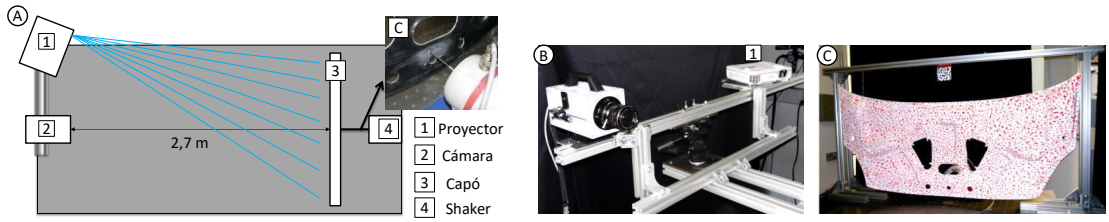


Figura 3 Ilustración esquemática del set-up empleado visto desde la parte superior. A) Sistema de cámara y proyector. B) Capó suspendido por cables. C) Shaker y conexión.

En la Figura 4 se muestran los mapas de desplazamiento en *z*- (fuera de plano) medidos en los distintas fases de la excitación.

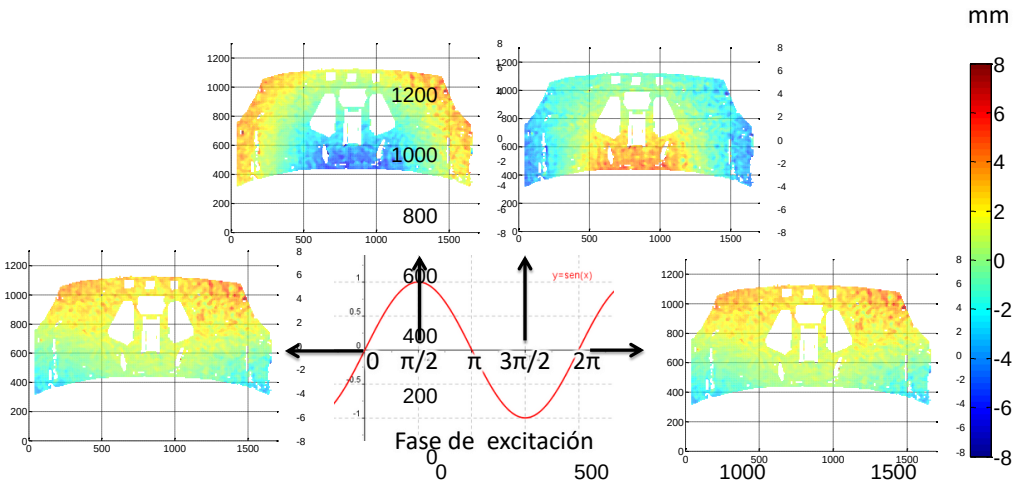


Figura 4 Mapas de desplazamiento fuera de plano del capó en función de la fase de la excitación.

3.2. Ensayos de impacto.

Por otro lado se han realizado ensayos de impacto sobre placas de aluminio 1050 de 150 × 150 × 3 mm^3. En concreto, el ensayo llevado a cabo es un ensayo en una torre de caída libre. La placa ensayada se anclaba completamente en sus cuatro bordes dejando un área libre de 120 × 120 mm^2. El impactador consistía en un indentador hemisférico con un radio de 4 mm. La masa impactadora era de 7.21 kg y se dispuso a una altura de 141.4 mm para generar una energía de impacto de 10 J. Para poder capturar las deformaciones durante el proceso de impacto, la cámara se dispuso de manera que observara la parte contraria a la de impacto mediante el uso de un espejo de 45 grados, como se muestra en la Fig. 2 A.

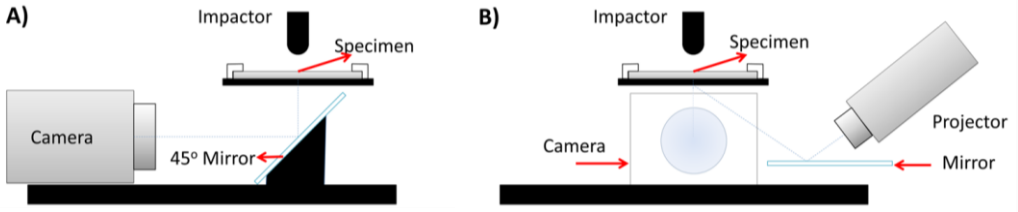


Figura 5 A) y B) Esquema del montaje experimental para ensayo de impacto.

Los mapas de máximo desplazamiento vertical y en z- obtenidos durante la prueba de impacto se presentan en la Figura 6 A) y B).

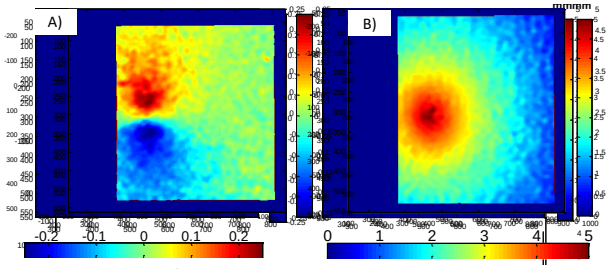


Figura 6 Resultados de desplazamiento máximo en las direcciones y- (A) y z- (B) durante la prueba de impacto.

5. Conclusiones.

Este trabajo ha presentado una metodología reciente para mediciones de desplazamiento tridimensionales simultáneas para pruebas dinámicas. El enfoque se basa en una combinación de FP y 2D-DIC mediante codificación RGB. Se ha demostrado su aplicabilidad a pruebas dinámicas, en concreto un ensayo de vibraciones en elementos industriales y otro de impacto. Los resultados son comparables en calidad a los obtenidos utilizando 3D-DIC con una configuración experimental más simple y económica, no obstante se observa un cierto aumento en la incertidumbre de la medida debido a la separación de patrones RGB. Una línea en la que se está trabajando es para obtener resultados más precisos con FP+2D-DIC mediante la mejora de la codificación del patrón de color. Para ello, se está planteando la realización de ensayos empleando una cámara multisensor y con proyección de franjas láser.

Bibliografía

[1] M.A. Sutton, J.J. Orteu, H.W. Schreier, Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements- Basic Concepts, Theory and Applications, Image Rochester NY. (2009) 341. doi:10.1007/978-0-387-78747-3.

[2] M. Sutton, W. Wolters, W. Peters, W. Ranson, S. McNeill, Determination of displacements using an improved digital correlation method, Image Vis. Comput. 1 (1983) 133–139. doi:10.1016/0262-8856(83)90064-1.

[3] M. Takeda, K. Mutoh, Fourier transform profilometry for the automatic measurement of 3-D object shapes, Appl. Opt. 22 (1983) 3977. doi:10.1364/AO.22.003977.

[4] S.S. Gorthi, P. Rastogi, Fringe projection techniques: Whither we are?, Opt. Lasers Eng. 48 (2010) 133–140. doi:10.1016/j.optlaseng.2009.09.001.

[5] C.J. Tay, C. Quan, T. Wu, Y.H. Huang, Integrated method for 3-D rigid-body displacement measurement using fringe projection, Opt. Eng. 43 (2004) 1152. doi:10.1117/1.1687728.

[6] B. Barrientos, M. Cerca, J. García-Márquez, C. Hernández-Bernal, Three-dimensional displacement fields measured in a deforming granular-media surface by combined fringe projection and speckle photography, J. Opt. A Pure Appl. Opt. 10 (2008) 104027. doi:10.1088/1464-4258/10/10/104027.

[7] P. Siegmann, V. Álvarez-Fernández, F. Díaz-Garrido, E. a Patterson, A simultaneous in- and out-of-plane displacement measurement method., Opt. Lett. 36 (2011) 10–12. doi:10.1364/OL.36.000010.

[8] C. Mares, B. Barrientos, a Blanco, Measurement of transient deformation by color encoding., Opt. Express. 19 (2011) 25712–25722.

[9] L. Felipe-Sesé, P. Siegmann, F.A. Díaz, E.A. Patterson, Simultaneous in-and-out-of-plane displacement measurements using fringe projection and digital image correlation, Opt. Lasers Eng. 52 (2014) 66–74. doi:10.1016/j.optlaseng.2013.07.025.

[10] L. Felipe-Sesé, P. Siegmann, F. a. Díaz, E. a. Patterson, Integrating fringe projection and digital image correlation for high-quality measurements of shape changes, Opt. Eng. 53 (2014). doi:10.1016/j.optlaseng.2013.07.025.

[11] L. Felipe-Sesé, E. López-Alba, P. Siegmann, F.A. Díaz, Integration of fringe projection and two-dimensional digital image correlation for three-dimensional displacements measurements, Opt. Eng. 55 (2016) 121711. doi:10.1117/1.OE.55.12.121711.

[12] M.E.H. (University of S. Ortiz, Novel Developments of Moiré Techniques for Industrial Applications, 11 (2004).

[13] D. Ghiglia, M. Pritt, Two-dimensional phase unwrapping: theory, algorithms, and software, 1998. doi:10.1177/004057368303900411.

[14] M.H. Ortiz, Location and Shape Measurement Using a Portable Fringe Projection System, Exp. Mech. 45 (2005) 197–204. doi:10.1177/0014485105053801.

Medidas hiperespectrales de fondo de ojo: una nueva herramienta para el diagnóstico oftalmológico

Tommaso Alterini[1], Fernando Díaz-Doutón[1], Francisco J. Burgos-Fernández[1], y Meritxell Vilaseca[1]

[1]*Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Rambla Sant Nebridi 10, Terrassa 08222, Barcelona, España*

http://www.cd6.upc.edu

1. Introducción

La fotografía de fondo de ojo es, hoy en día, una de las herramientas clínicas más utilizadas para el cribado de enfermedades de la retina y la detección temprana de muchas patologías oculares, tales como el glaucoma, degeneración macular asociada a la edad, retinopatía diabética, etc. Las retinógrafos comerciales disponibles actualmente usan cámaras digitales en color, por lo que están restringidos a tres bandas espectrales (imágenes RGB). Consecuentemente, debido al metamerismo, muchas estructuras que aparecen en enfermedades, como exudados, drusas o neovascularización, pueden permanecer ocultas. Además, debido a que su sensibilidad espectral está acotada en el espectro visible, ya que incorporan sensores de silicio, estructuras anómalas que están presentes en capas profundas del fondo de ojo tampoco pueden verse con este tipo de cámaras, lo que limita el diagnóstico que puede hacer el oftalmólogo.

En los últimos años, el uso de sistemas de imagen hiperespectral ha crecido de forma notable dado su enorme potencial, al permitir obtener información espectral y espacial simultáneamente. Así, han sido aplicados para el análisis espectral de tejidos biológicos y, en particular, para mejorar el diagnóstico de patologías oculares [1,2]. Sin embargo, la mayoría de los retinógrafos basados en esta tecnología consisten en cámaras de fondo de ojo tradicionales modificadas cuyos sistemas de detección o iluminación originales han sido reemplazados por filtros sintonizables [3,4] o diodos emisores de luz (LED) [5,6]. En efecto, son sistemas que realizan un escaneo secuencial y, por lo tanto, las imágenes que proporcionan acostumbran a contener artefactos causados por el movimiento de los ojos. Así, algunos de ellos están limitados a pocas bandas. Otros sistemas más recientes han incorporado soluciones imaginativas para conseguir un registro del fondo a muchas bandas de forma muy rápida, pero a expensas de la resolución espacial, que es muy limitada [7]. De esta forma, muchas estructuras pequeñas continúan sin ser visualizadas con este tipo de sistemas, aunque exista mucha resolución espectral.

En esta línea, en este trabajo se presenta un nuevo sistema hiperespectral basado en diodos emisores de luz (LEDs) que permite la obtención de imágenes de fondo del ojo en un rango espectral extendido (de 400 nm a 1300 nm) de forma rápida y con una elevada resolución espacial. También se presentan algunos ejemplos clínicos en los que el uso de dicho sistema puede ser muy relevante para el diagnóstico clínico de enfermedades oculares.

2. Retinógrafo hiperespectral

El sistema de detección consiste en una cámara CMOS (Orca Flash 4.0, Hamamatsu, Japón, 2048 píxels x 2048 píxeles, 16 bits) y una cámara InGaAs (C12741-03, Hamamatsu, Japón, 640 píxeles x 512 píxeles, 12 bits) con sensibilidad en los rangos visible (400 nm-1000 nm) e infrarrojo (950 nm-1700 nm), respectivamente. El sistema de iluminación está compuesto por 15 LEDs con las siguientes longitudes de onda: 416, 450, 471, 494, 524, 595, 598, 624, 660, 732, 865, 955, 1025, 1096 y 1213 nm, que permiten obtener una iluminación multiplexada en la retina de manera rápida, robusta y versátil, cubriendo completamente el rango espectral del visible y extendiéndose hasta 1300 nm.

En la Fig. 1 puede verse un esquema de la cámara de fondo de ojo, así como el rango espectral que abarca. Más allá de 1300 nm la absorción del agua no permite obtener imágenes espectrales. Cabe remarcar que, hasta la fecha, el rango comprendido entre 900 nm y 1300 nm no ha sido estudiado a nivel

espectroscópico en el ojo. Esta región espectral, conocida como segunda ventana del infrarrojo próximo, es de interés para los biólogos, puesto que las longitudes de onda que incluye pueden penetrar a capas más profundas del tejido humano al presentar menos absorción que las del visible [8]. Por lo tanto, pueden proporcionar información adicional sobre estructuras ocultas para las cámaras de color convencionales y de enfermedades que afectan al epitelio pigmentario de la retina (EPR) y la coroides.

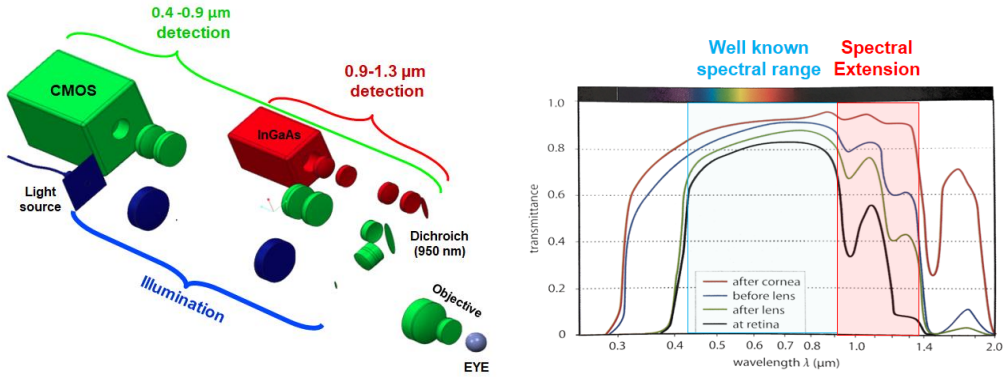


Figura 1: Esquema del retinógrafo hiperespectral (izquierda) y rango espectral del retinógrafo (derecha) .

El diseño óptico del sistema se optimizó para adaptarlo al amplio rango espectral del sistema mediante el software Zemax (Radiant Zemax, EEUU), permitiendo obtener un campo de 30º con una resolución de alrededor de 10 µm. Se compararon diferentes disposiciones de los LEDs para poder escoger la mejor estrategia de iluminación en términos de homogeneidad, eficiencia de colección de luz y eficacia en la supresión de reflexiones parásitas, que pudieran comprometer la calidad de la imagen. Adicionalmente, se desarrolló una interfaz en Matlab para controlar la emisión de los LEDs y otra basada en el software Hokawo de Hamamatsu para sincronizar la adquisición de la iluminación con las cámaras digitales. De hecho, la adquisición de las 15 imágenes espectrales se realiza en 612 ms, 264 ms para la cámara CMOS y 348 ms para la cámara InGaAs (Fig. 2).

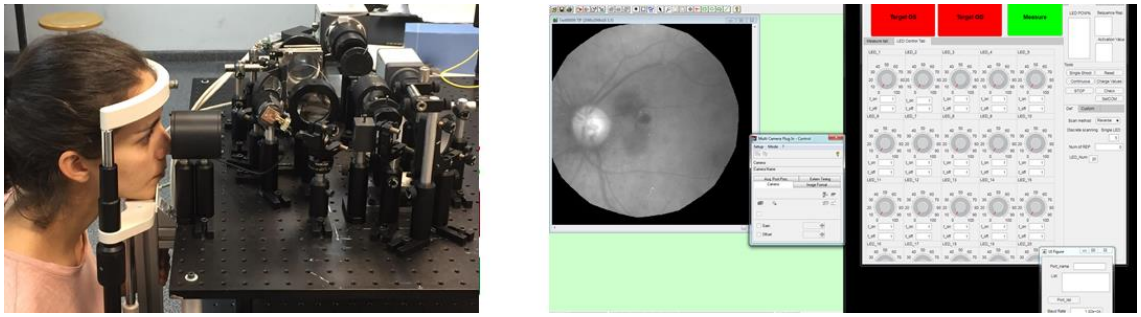


Figura 2: Vista del retinógrafo hiperespectral (izquierda) e interfaz basada en Matlab y Hokawo de Hamamatsu desarollada (derecha).

La emisión del retinógrafo hiperespectral desarrollado se caracterizó (Fig. 3) y validó de acuerdo a las normas internacionales ISO 15004-2:2007 [9] y ISO 10940:2009 [10], que especifican los requisitos para asegurar la protección contra riesgos de la luz en instrumentos oftálmicos y cámaras de fondo de ojo, respectivamente. Dicho análisis permitió clasificar el retinógrafo desarrollado como Grupo 1, esto es, no peligroso para el ojo.

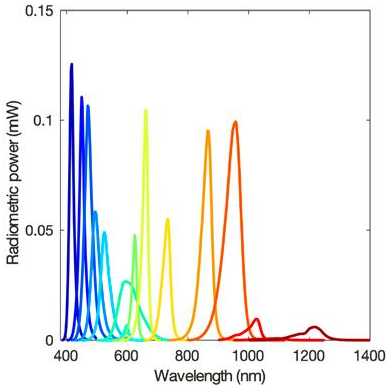


Figura 3: Flujo radiante (mW) emitido por los LEDs incluidos en el sistema.

3. Resultados

El retinógrafo hiperespectral se evaluó en primer lugar con ojos artificiales y, posteriormente, con ojos de un pequeño grupo de voluntarios con retinas sanas y enfermas. Los resultados preliminares obtenidos ponen de manifiesto que mientras las longitudes de onda más cortas permiten visualizar en detalle las estructuras retinianas más superficiales, las del infrarrojo, especialmente las superiores a 950 nm, permiten obtener información de capas más profundas, como de la coroides y su vascularización, lo que puede aportar información adicional relevante para el diagnóstico clínico (Fig. 4).

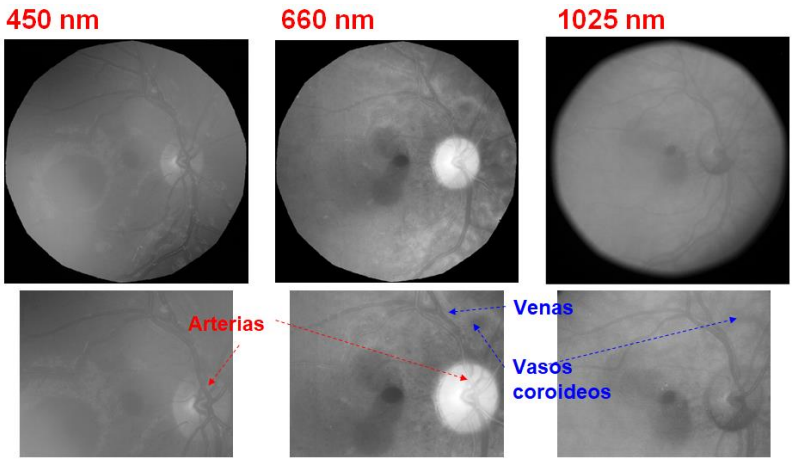


Figura 4: Imágenes de una retina sana obtenidas a 460 nm (izquierda), 670 nm (centro) y 1050 nm (derecha). Abajo se muestran tres zonas de interés ampliadas, donde se pueden visualizar las diferencias en ciertas estructuras.

Adicionalmente, el análisis de algunas retinas afectadas por diferentes enfermedades permitió poner de manifiesto el alto potencial del sistema para visualizar estructuras que quedan escondidas en imágenes de fondo de ojo de color convencionales. En la Fig. 5 se muestra un ejemplo concreto de una drusa causada por una degeneración del EPR. Mientras que no puede ser percibida en la imagen de color, dicha estructura es claramente visible en las imágenes espectrales correspondientes al rojo e infrarrojo cercano proporcionadas por el retinógrafo hiperespectral.

4. Conclusiones

El retinógrafo hiperespectral desarrollado puede ser muy útilpara el diagnóstico precoz de ciertas enfermedades oculares que se manifiestan de forma temprana en capas subyacentes del polo posterior. Actualmente, el sistema desarrollado está siendo testeado con un número mayor de ojos sanos y con patologías de retina.

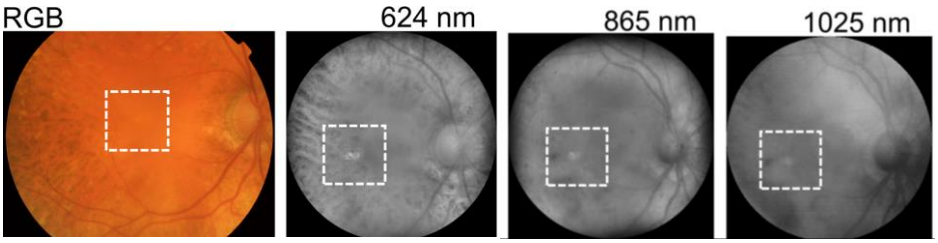


Figura 5: Imágenes en color e hiperespectrales de una retina con degeneración del EPR. Mientras que en la imagen en color no se aprecia ninguna estructura, en las imágenes hiperespectrales se puede observar una drusa.

Agradecimientos: A la Unión Europea por el proyecto BEOPTICAL (675512) y al Ministerio de Economía y Empresa por la financiación del proyecto EYEBLOOD (DPI2017-89414-R).

Bibliografía

[1] M. Kaschke, K. H. Donnerhacke, M. S. Rill. *Optical Devices in Ophthalmology and Optometry: Technology, Design Principles and Clinical Applications*, (WILEY- VCH, 2014).

[2] N. L. Everdell, I. B. Styles, A. Calcagni, J. Gibson, J. Hebden, and E. Claridge, "Multispectral imaging of the ocular fundus using light emitting diode illumination", Rev. Sci. Instrum., **81** (9), 1–9 (2010).

[3] D. J. Mordant, I. Al-Abboud, G. Muyo, A. Gorman, A. Sallam, P. Ritchie, A. R. Harvey, A. I. McNaught, "Spectral imaging of the retina," *Eye* **25**(3), 309-320 (2011).

[4] V. Nourrit, J. Denniss, M. M. Muqit, I. Schiessl, C. Fenerty, P. E. Stangaa, D. B. Henson, "High-resolution hyperspectral imaging of the retina with a modified fundus camera," J. Fr. Ophtalmol. **33**(10), 686-692 (2010).

[5] S. Li, L. Huang, Y. Bai, Y. Cheng, J. Tian, S. Wang, Y. Sun, F. Wang, Q. Zhang, Q. Meng, Y. Qi, Y. Yu, X. Li, "In vivo study of retinal transmission function in different sections of the choroidal structure using multispectral imaging," Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. **56**(6), 3731-3742 (2015).

[6] N. L. Everdell, I. B. Styles, A. Calcagni, J. Gibson, J. Hebden, E. Claridge, "Multispectral imaging of the ocular fundus using light emitting diode illumination," Rev. Sci. Instrum. **81**(9), 093706 (2010).

[7] L. Gao, R. T. Smith, T. S. Tkaczyk, "Snapshot hyperspectral retinal camera with the Image Mapping Spectrometer (IMS)," Biomed. Opt. Express. **3**(1), 48-54 (2012).

[8] D. Salo, D. Kim, Q. Cao, M. Y. Berezin, "Multispectral imaging/deep tissue imaging: extended near-infrared: a new window on in vivo bioimaging," BioOpt. World **7**, 22-25 (2014).

[9] ISO 15004-2:2007, "Ophthalmic instruments -- Fundamental requirements and test methods -- Part 2: Light hazard protection," International Organization for Standardization (2007).

[10] ISO 10940:2009, "Ophthalmic instruments -- Fundus cameras," International Organization for Standardization (2009).

Reconstrucción de objetos 3D mediante técnicas SFM y obtención de texturas hiperespectrales

Francisco Díaz-Barrancas[1*], Halina Cwierz[1], P. J. Pardo[1], A. L. Pérez[2] y M. I. Suero[2]

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

[2]*Departamento de Física, Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias, Avda. de Elvas s/n, Badajoz E06071, España*

http://grupoorion.unex.es

1. Introducción

El avance tecnológico sigue su progreso inexorable desde que en los años 50 del siglo XX se inventase el transistor y diera comienzo la era digital. Este progreso lo podemos apreciar en muchos aspectos de la vida cotidiana, como en nuestras capacidades de comunicación, nuestras capacidades de cómputo e incluso, en aspectos lúdicos como televisión, cine, videojuegos, etc. Una de las últimas vueltas de tuerca de este avance tecnológico ha sido la generalización del uso del mundo 3D en entornos digitales. No ya pensando únicamente en la visualización de contenidos 3D, sino en el diseño de todo tipo de productos en entornos 3D, desde muebles o vehículos hasta videojuegos o películas. Esta forma de diseño 3D nativo se ha visto complementada con la aparición de dispositivos que permiten capturar el mundo real y digitalizarlo en 3D, como escáneres 3D. Estos dispositivos están en constante evolución y han avanzado mucho de los primeros escáneres láser que obtenían la nube de puntos en blanco y negro hasta los actuales, mucho más sencillos, que utilizan técnicas de imagen e iluminación estructurada para la determinación de la nube de puntos y una textura de color RGB asociada. Recientemente, ha surgido una nueva técnica que permite digitalizar objetos 3D reales mediante la captura de múltiples imágenes del mismo objeto desde distintos ángulos. Este tipo de técnicas, basadas en cálculos fotogramétricos, generan igualmente la nube de puntos del objeto 3D y una textura de color RGB y sirven para todo tipo de objetos pequeños o grandes.

En todos los casos anteriores, las coordenadas espaciales XYZ generadas, conforman la nube de puntos 3D, y se complementan con información adicional de color en forma de textura de color RGB en el mejor de los casos. El espacio de color RGB se utiliza para representar el color de los objetos 3D; sin embargo, esta opción no es la más apropiada si se busca la máxima fidelidad en la reproducción del color del objeto en el mundo digital con respecto a la apariencia visual del objeto en el mundo real.

Para obtener una correcta representación de un objeto en el mundo digital, conservando la misma apariencia visual que en el mundo real se presentan como fundamentales una correcta captura y representación del color materia, el brillo (gloss), la textura y la transparencia. Para una correcta captura se han desarrollado gonio-espectro-fotómetros que permiten obtener la Función de Distribución Bidireccional de Reflectancia espectral (spectral Bidirectional Reflectance Distribution Function, sBRDF) de los distintos materiales [1]. Sin embargo, realizar una captura gonioespectrofotométrica de un objeto completo es una tarea costosa en tiempo, dinero y cantidad de datos generados.

El objetivo de este trabajo es centrarnos en la caracterización del color-materia del objeto y determinar la textura hiperespectral asociada a la nube de puntos de un objeto 3D. Para ello, desarrollamos un software que realiza la captura de objetos 3D mediante técnicas de reconstrucción con varias vistas (*Multi-View Images*), utilizando imágenes proporcionadas por una cámara hiperespectral, lo que nos permite asociar una curva de reflectancia espectral a cada punto XYZ obtenido de la reconstrucción 3D.

* *e-mail*: frdiaz@unex.es

2. Metodología

En este trabajo se utilizaron varios equipos de hardware y varios elementos de software. A continuación, se describen detalladamente junto a los pasos realizados en el trabajo para conseguir el resultado final.

Hardware

El primer paso de este trabajo de investigación ha sido el desarrollo de un sistema de captura de objetos reales en 3D basado en imágenes tomadas por una cámara hiperespectral *Cubert UHD* 285 que proporciona con cada toma un cubo hiperespectral de 1000 x 1000 píxeles y 125 canales espectrales definidos entre 450 y 950 nm con una resolución espectral de 4 nm. Esta cámara también proporciona una imagen JPG en escala de grises de la misma resolución.

Las capturas de imágenes se realizaron en una cabina de luz *GTI Minimatcher* equipada con un simulador de iluminante D50. También hemos utilizado una cámara digital, modelo *Qimaging Retiga Exi*, que proporciona imágenes en color RGB con muy bajo ruido y una resolución de 1,4 megapíxeles.

El escenario utilizado para la captura de imágenes con la cámara hiperespectral es el que podemos apreciar en la Fig. 1.



Figura 1: Escenario utilizado para la reconstrucción del objeto 3D.

Para una correcta captura del objeto, se ha desarrollado y automatizado una plataforma motorizada. La plataforma permite girar los objetos y realizar las capturas automáticamente desde diferentes ángulos de visión. Esta plataforma giratoria está conectada a un microcontrolador *arduino* que la controla mediante un software propio que hemos desarrollado y un motor paso a paso.

Software

Para la reconstrucción 3D del objeto se han utilizado técnicas de *Structure-From-Motion*, que permiten obtener la nube de puntos asociada a un objeto 3D utilizando imágenes tomadas desde distintos puntos de vista. En concreto, hemos utilizado el software CMVS-PMVS desarrollado por el Dr. Yasutaka Furukawa [2], cuyo código fuente está disponible para la comunidad científica ya que es una iniciativa *Open Source*. Sobre este software hemos realizado una modificación que permite procesar los cubos hiperespectrales asociados a cada captura realizada por la cámara hiperespectral y permite almacenar las reflectancias espectrales promedio correspondientes a cada píxel del objeto que deseamos reconstruir.

Para visualizar el objeto capturado, hemos utilizado el software *Meshlab*, en el que podemos definir una superficie de malla 3D y eliminar los puntos que producen ruido en el objeto.

Procedimiento de reconstrucción 3D

El primer paso en el procedimiento de reconstrucción 3D consiste en capturar un objeto 3D real. Esto se ha realizado tomando varias imágenes hiperespectrales con nuestra cámara hiperespectral. También hemos tomado imágenes con nuestra cámara RGB. Esto nos permitirá hacer comparaciones futuras de los

resultados obtenidos. En total, hemos obtenido 36 capturas digitales tomándolas cada 10 grados. La figura 1 muestra una imagen del escenario montado para la toma de imágenes.

En segundo lugar, es necesario obtener las características y la concordancia de las imágenes. Este es un paso previo a la reconstrucción del objeto 3D y este paso se realizó a través del software *Visual SFM*. De esta manera, generamos el archivo SIF de cada imagen, necesario para llevar a cabo la reconstrucción del objeto.

Parámetros de refinamiento y visualización

Este paso previo a la reconstrucción es el más importante y crítico de nuestro procedimiento, y es posible optimizarlo ya que hay muchos parámetros susceptibles de ser modificados. La Tabla 1 muestra los valores optimizados de los diferentes parámetros utilizados por nuestro sistema en la reconstrucción.

Parámetros	Valor óptimo	Valor inicial
Level	0	1
Csize	2	2
Threshold	0.80	0.70
Wsize	30	4
MinImagenNum	4	2
MaxAngle	10	10
Quad	2.0	2.0

Tabla 1: Parámetros de optimización en la reconstrucción

Finalmente, hemos obtenido un archivo de salida que contiene una lista de puntos que conforman una versión virtual del objeto real en 3D. Cada punto se describe por sus coordenadas espaciales XYZ, los valores cromáticos RGB y su espectro de reflectancia. Ahora es necesario relacionar cada punto perteneciente a la superficie del objeto en una malla triangular 3D y eliminar otros puntos ruidosos. Para esta tarea hemos empleado *Meshlab*, un software de código abierto para el procesamiento y edición de mallas triangulares 3D. Con *Meshlab* es posible definir una malla 3D para la superficie del objeto y visualizar los resultados obtenidos de la reconstrucción densa.

3. Resultados

Partiendo de los archivos PLY generados desde el software de reconstrucción, es posible visualizar la nube de puntos y definir la malla 3D para representar el objeto en el mundo virtual. En la Fig. 2, observamos tanto la reconstrucción de la nube de puntos (a) como la creación de mallas para las imágenes en escala de grises (b) que hemos realizado con la cámara hiperespectral. Además, hemos realizado las mismas reconstrucciones con las imágenes obtenidas de la cámara RGB, ya que éstas nos servirán para comparar el nivel de calidad de la reconstrucción obtenida con la anterior. En la Fig. 3, observamos tanto la reconstrucción de la nube de puntos (a) como la reconstrucción con la creación de mallas (b) para la cámara RGB.

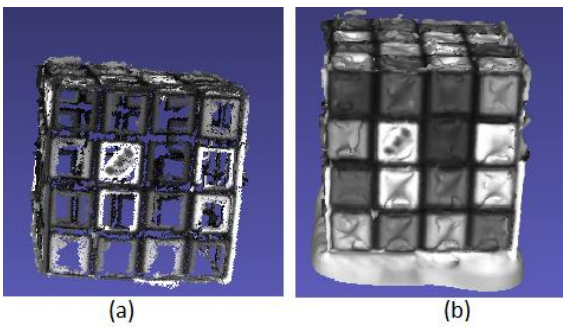


Figura 2: Nube de puntos (a) y creación de mallas con algoritmo de Poisson (b).



Figura 3: Nube de puntos (a) y creación de mallas con algoritmo de Poisson (b) para la cámara RGB.

Por último, a modo de evaluación de resultados de esta técnica, se han calculado las desviaciones típicas de las reflectancias para cada longitud de onda obtenidas del fichero PLY generado al obtener la reconstrucción del objeto, Fig. 4. En el siguiente gráfico se puede ver que el error medio por longitud de onda se mantiene estable entorno a valores del 10 por ciento, valor que se considera más que aceptable si tenemos en cuenta el error cometido por la cámara por un lado y el error que se introduce de la técnica de reconstrucción por otro.

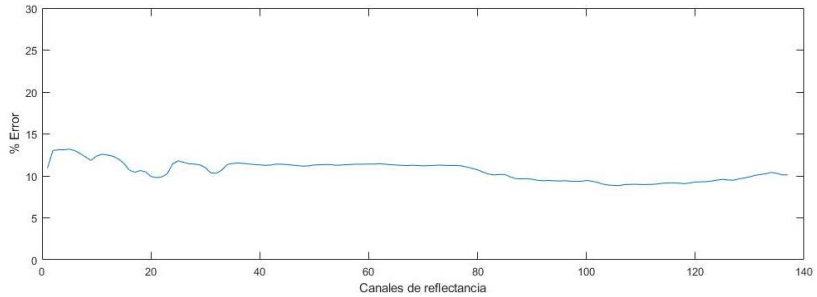


Figure 4: Gráfica con el error en las desviaciones típicas de las reflectancias

4. Conclusiones

En vista de los resultados obtenidos, podemos llegar a la conclusión de que es posible hacer una reconstrucción 3D del objeto utilizando técnicas de *Structure From Motion* a la vez que almacenamos las reflectancias de los puntos obtenidos. Esto nos permitirá en trabajos futuros realizar cambios de fuente luminosa en cualquier escenario virtual que permita representar objetos 3D y obtener una representación fiel del color. Para ello, hemos tenido que modificar gran parte del software que estaba implementado para realizar dicha técnica.

En futuros trabajos, aplicaremos las texturas hiperespectrales obtenidas de los valores almacenados e intentaremos mejorar la calidad de las imágenes hiperespectrales con el objetivo de aumentar la calidad de la reconstrucción tridimensional.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a las ayudas IB16004 y GR18131 de la Junta de Extremadura, parcialmente financiadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Bibliografía

[1] A. Ferrero, A. Rabal, J. Campos, F. Martínez-Verdú, E. Chorro, E. Perales, A. Pons y M. Luisa Hernanz, "Variables separation of the spectral BRDF for better understanding color variation in special effect pigment coatings", JOSA A , vol. 29, no 6, p. 842-847, 2012.

[2] Y. Furukawa, J. Ponce , “Accurate, dense, and robust multiview,” IEEE transactions on pattern analysis and machine, vol. 32, pp. 1362-1376, 2010.

Deep Learning para predicción de saliencia en imágenes en color

Fernández-Gualda R.[1], Valero E.M.[1], Nieves J.L.[1], Martínez M.A.[1], Romero J.[1]

[1]*Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071-Granada*

http://www.colorimaginglab.ugr.es

1. Introducción

En los últimos años ha sido muy relevante el interés suscitado por las técnicas de aprendizaje profundo (o Deep Learning) ya que las redes convolucionales en las que se basan han permitido nuevas arquitecturas diferentes de las convencionales, alcanzando grandes logros en el campo de la Visión por Computador [1]. Es sabido que el sistema visual humano es capaz de detectar información importante en una imagen, disgregando lo esencial de lo superfluo en la escena que le rodea. La representación visual de esas partes significativas en una imagen se denomina "mapa de saliencia" o *heat-map*. Este proceso cognitivo es llamado atención visual, y la comunidad científica ha intentado explicarlo mediante modelos basados en características específicas, tales como intensidad, color, caras, líneas, curvaturas, esquinas, o profundidad en la imagen, entre otras [2]. Todas estas técnicas resultan incompletas, pues ninguna acierta con gran precisión sobre lo que resulta más interesante al ojo humano dado un conjunto de información entrante. Es por ello que, teniendo en cuenta el avance de las redes neuronales artificiales y su uso en el Deep Learning, se pretenda dar un resultado más completo y fiel que se asemeje más al modelo de atención visual humano, para poder emplear y complementar en campos como la robótica, conducción autónoma, control de alimentos, o incluso detección de objetos. Concretamente, las redes neuronales convolucionales, a diferencia de las redes ordinarias, son utilizadas para datos de gran volumen (Big Data). Vienen así a solucionar el problema de las redes convencionales anteriores al no escalar correctamente para las imágenes de tamaño considerable por la enorme cantidad de elementos. Aprenden a detectar diferentes características en imágenes aplicando filtros que pueden pasar de características simples como luminosidad, bordes o líneas, a características más complejas para reconocerlas después en cualquier otra ocasión [3]. Cuando se trabaja con grandes cantidades de datos y complejas arquitecturas de red, las Graphics Processing Units (GPUs) pueden reducir significativamente el tiempo de procesamiento necesario para entrenar un modelo. Sin embargo, no siempre se dispone de una por su alto coste, por lo que puede reemplazarse con el uso de una CPU. Mediante un Aprendizaje Supervisado, la predicción de mapas de saliencia en imágenes es posible con el previo entrenamiento a partir de un conjunto de imágenes etiquetadas con sus respectivos mapas.

El presente trabajo desarrolla una arquitectura óptima de red neuronal convolucional apta para el uso con computadores limitados con CPU, que entrenada con una amplia base de datos compuesta por imágenes RGB y sus correspondientes mapas de saliencia obtenidos a partir de la monitorización de las fijaciones de un conjunto de sujetos, permite predecir mapas de saliencia que simulan el comportamiento visual humano. Por ello, las pruebas aquí presentadas pretenden mostrar la configuración de hiperparámetros que durante el entrenamiento van a ofrecer resultados de predicción más idóneos.

2. Material y método

Durante el desarrollo e implementación de la red, para simular un computador de baja potencia se ha utilizado una CPU Intel Core i7-4710HQ de 2.5GHz. Como software, por aceptación de la comunidad y extensión en cuanto a documentación, se ha empleado Python 3.6 mediante Keras, librería que permite una amplia gama de modelos de Deep Learning y funciones para redes neuronales por encima de la librería de cálculo numérico de más bajo nivel TensorFlow, que gracias a su capa de abstracción permite un desarrollo más rápido [4].

La red ha sido entrenada con el conjunto de datos que ofrece SALICON [5], siendo la mayor base de datos de mapas de saliencia de observación visual sin tarea asociada (*free-viewing*) recopilada hasta la fecha. El objetivo de SALICON es rastrear la atención visual de los sujetos al inspeccionar una escena visual mediante el método de *mouse-tracking* obteniéndose así el mapa de saliencia global que funcionará

a modo de dato de referencia (o *ground-truth*) de cada imagen. SALICON incluye 15.000 imágenes RGB, con un tamaño de 640×480 píxeles, de las cuales 11.920 imágenes se destinarán para el entrenamiento, 2.980 imágenes de validación y 100 imágenes test, con un preprocesamiento a la entrada de la red neuronal que implicará un reescalado a 128×128.

La estructura de red empleada, de arquitectura codificador-decodificador (Fig. 1), está inspirada en la conocida red U-Net [6] por la composición en sus bloques convolucionales. Sin embargo, respecto de esta, se ha propuesto la adición de capas de normalización de lotes [7] detrás de cada capa convolucional, de manera que el almacenamiento y cálculo de parámetros se optimiza en el funcionamiento de la red, y la eliminación de todas las capas de concatenación, formando así un *Autoencoder*. La etapa "codificadora" está formada por capas de convolución con tamaños de *kernel* 3×3, *padding* activado para mantener el mismo tamaño tanto en la entrada como en la salida de la capa y con el doble de número de filtros por cada capa convolucional consecutiva que aumenta la profundidad de las imágenes; capas de activación ReLU y capas de agrupación máxima de orden 2×2, que reducen la resolución de píxeles de las mismas. La etapa "decodificadora" consiste en un camino simétrico de expansión que devuelve a la imagen su tamaño inicial mediante capas de convolución ascendente con *kernels* del mismo tamaño y capas de activación ReLU, finalizando con una capa de convolución de *kernel* 1×1 que da como resultado una predicción en forma de *heat-map* con un solo canal (en escala de grises).

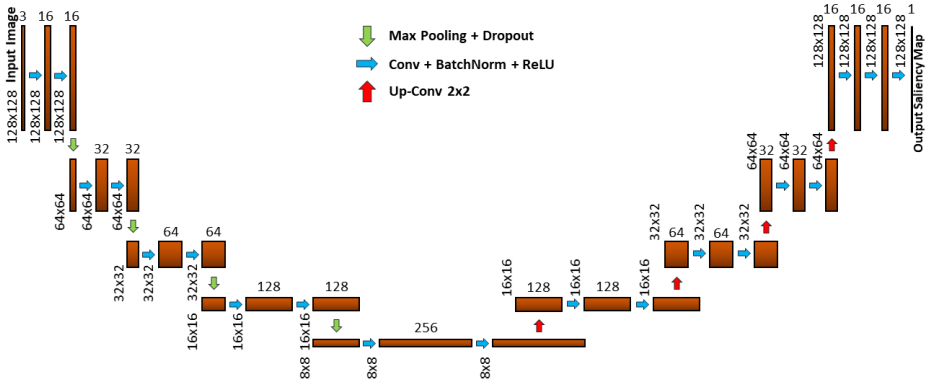


Figura 1: Arquitectura de la red neuronal empleada.

Se dice que las redes neuronales reciben un aprendizaje correcto cuando previamente pasan por un proceso de entrenamiento adecuado, al ajustarse sus pesos o conexiones adaptando su desempeño al entorno en el que operan. La optimización en una función de error o coste mide la veracidad de la respuesta de la red, con una evaluación del conjunto de los pesos por un agente externo que conoce la respuesta que debería generar la red y emplea el algoritmo *backpropagation*. Para esta aplicación se ha tratado de minimizar las funciones de coste de error cuadrático medio (Ec. 1) y de error absoluto medio (Ec. 2) al ser un problema de tipo regresivo:

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} (\mathrm{s_i(n)} - \mathrm{y_i(n)})^2 \quad (1)$$

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} |\mathrm{s_i(n)} - \mathrm{y_i(n)}| \quad (2)$$

donde $\mathrm{s_i(n)}$ es la salida esperada, $\mathrm{y_i(n)}$ la salida generada por el algoritmo, n es cada una de los píxeles a analizar y N es el total de píxeles de la imagen.

Como optimizadores para la minimización de la función objetivo se han seleccionado dos tipos para su análisis: el Descenso de Gradiente Estocástico (SGD) y la Estimación Adaptativa del Momento (ADAM), los cuales, al ser métodos iterativos donde los pesos se actualizan en cada iteración, se han asignado como máximo hasta 200 *epochs*. Por restricciones de memoria, es común su división en subconjuntos de imágenes (*mini-batch*), cuyo tamaño se establece en un valor determinado, teniendo así que buscar un equilibrio entre el tamaño de dicha variable y rendimiento de la red neuronal. Para agilizar el proceso, gracias a Keras la red se configura para hacer uso de los llamados *callbacks*, que almacenan el modelo que menores pérdidas de validación ofrece, y detener el proceso de entrenamiento en caso de no obtener mejores resultados de aprendizaje (*early-stopping*).

Una vez finalizada dicha fase de entrenamiento, se inicia el proceso de predicción de la red sobre los datos test, cuya evaluación consistirá en la aplicación de las métricas populares de evaluación de

imágenes [8] como MAE, AuC Borji (*Area under ROC Curve*) y NSS (*Normalized Scanpath Saliency)*, calculando el promedio para las 100 imágenes test en cada una de las métricas.

3. Resultados y conclusiones

La Fig. 2 muestra un subconjunto del total de mapas de saliencia predichos de los modelos entrenados según el ajuste del tamaño de lotes o *batch size* mostrando visualmente un parecido razonable con las fijaciones humanas o *ground-truth*.

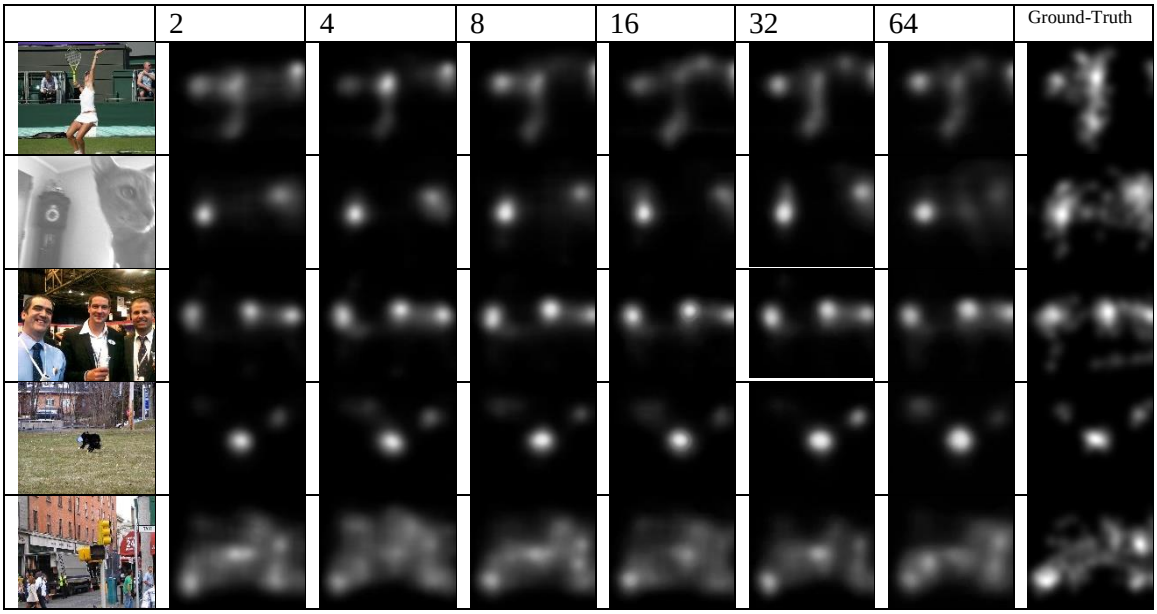


Figura 2: Subconjunto de mapas saliencia predichos para algunas imágenes test (en filas) según los tamaños de lotes (en columnas).

Estos modelos han sido prefijados a una misma configuración inicial con ADAM de optimizador y una función de coste de MSE. Según los datos mostrados en la Tabla 1, el equilibrio mencionado anteriormente entre tamaño de lote y rendimiento de red se haya con el establecimiento de 8 como *batch size* para dicho conjunto de datos.

	2	4	**8**	16	32	64
MAE	0,1440	0,1368	0,1261	0,1314	0,1213	0,1327
AuC Borji	0,7016	0,7110	0,7952	0,7991	0,7016	0,7001
NSS	4,0217	3,9935	4,0297	3,9701	3,9995	3,9773

Tabla 1: Evaluación según el ajuste del tamaño de los lotes.

Se evalúan además las posibles combinaciones de las funciones de pérdida (MSE y MAE) y optimizadores (SGD y ADAM) para *batch size* de valor 8. Según se muestra en la Figura 3, aquellos modelos que no emplean SGD ofrecen en sus mapas de saliencia una predicción más fiel al *ground-truth.*

Los resultados de la Tabla 2 revelan que de entre todas las combinaciones analizadas, ADAM+MSE sería la que produce mejores valores de métricas de comparación de mapas de saliencia, con predicciones en cada uno de los píxeles que en la mayoría de los casos han tenido un acierto considerable. Esto en parte se explica gracias a la tasa de aprendizaje adaptativa de ADAM, que varía en función de la distribución de los parámetros con un ajuste más apropiado en el proceso de entrenamiento, reduciendo incluso la cantidad de iteraciones necesarias para hallar el mejor modelo.

	SGD+MSE	SGD+MAE	**ADAM+MSE**	ADAM+MAE
MAE	0,1649	0,1637	0,1261	0,1272
AuC Borji	0,6133	0,6074	0,7952	0,7587
NSS	1,9340	1,9004	4,0297	3,9895

Tabla 2: Evaluación según el ajuste de la función de pérdida y optimizador.

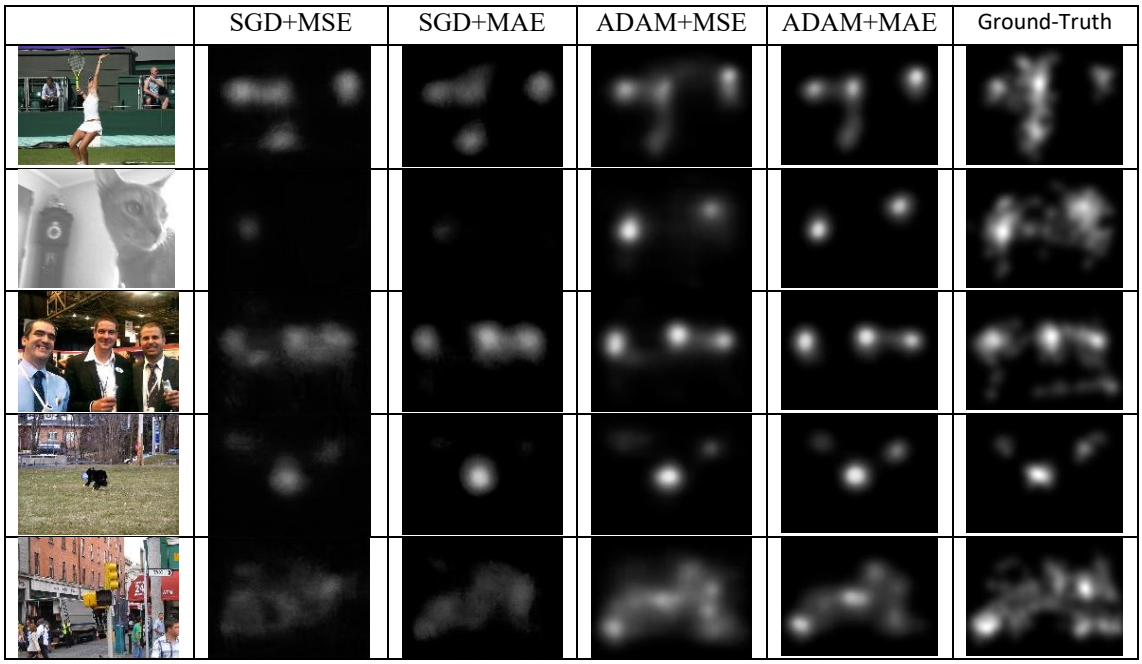


Figura 3: Subconjunto de mapas saliencia predichos de las imágenes test según función de pérdida y optimizador.

En dispositivos con solo una CPU disponible para el entrenamiento de redes neuronales el tiempo de computación puede prolongarse enormemente, mientras que las populares redes actuales exigen una alta potencia computacional, siendo requisito indispensable una GPU de alta gama. Es por ello que mediante este estudio se pretende dar una solución con una estructura de red que implementa capas de normalización de lotes para optimizar el cálculo y desarrollo del proceso de entrenamiento. Utilizando un conjunto de datos lo suficientemente amplio y un ajuste correcto de los hiperparámetros, es posible realizar un correcto aprendizaje para generalizar con mayor acierto y conseguir resultados de saliencia próximos al *ground-truth*.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (proyecto DPI2015-64571-R).

Bibliografía

[1] X. Yuan, P. He, Q. Zhu and X. Li, "Adversarial Examples: Attacks and Defenses for Deep Learning", (2017).
[2] W. Wangand, J. Shen, "Deep Visual Attention Prediction", Senior Member, IEEE (2017).
[3] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition", International Conference on Learning Representations ICLR (2015).
[4] J. Torres, "Deep Learning Introducción práctica con Keras", (June 2018).
[5] M. Jiang, S. Huang, J. Duan and Q. Zhao, "SALICON: Saliency in Context", The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR (June 2015).
[6] O. Ronneberger, P. Fischer and T. Brox, "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation", Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention MICCAI, Springer, LNCS, Vol. 9351: 234--241 (2015).
[7] S. Ioffe and C. Szegedy, "Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift", Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning ICML, Volume 37, pp.448-456. (2 Mar 2015).
[8] Z. Bylinskii, T. Judd, A. Oliva, A. Torralba and F. Durand, "What do different evaluation metrics tell us about saliency models?", IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, Volume 41, nº3, pp. 740-757 (2018).

Caracterización de retardadores ópticos estructurados mediante su color de birrefringencia

David Marco[1], María del Mar Sánchez López[1], Pascuala García Martínez[2], Ignacio Moreno[3*]

1. *Instituto de Bioingeniería, Universidad Miguel Hernández, 03202 Elche, Alicante*
2. *Departament d'Òptica i Optometria i Ciències de la Visió, Universitat de València, 46100 Burjassot, Valencia*
3. *Departamento de Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnología Electrónica, Universidad Miguel Hernández, 03202 Elche, Alicante*

http://tecnopto.edu.umh.es

1. Introducción

En esta comunicación se presenta la caracterización de elementos ópticos retardadores estructurados mediante su color de birrefringencia. Estos novedosos elementos ópticos están adquiriendo in gran interés por la posibilidad de utilizarlos como componentes ópticos planos (*flat optics*) [1], muy útiles y fáciles de integrar en sistemas complejos, que no utilizan componentes refractivos o difractivos clásicos, sino variaciones espaciales del estado de polarización. Consisten en retardadores ópticos, típicamente retardadores de media onda, cuya orientación del eje óptico describe una variación espacial. Esta variación espacial codifica una función de fase equivalente sobre luz circularmente polarizada, conocida como fase geométrica o fase de Pancharatnam. La codificación de diferentes funciones permite que se estén empleando para realizar lentes, redes de difracción, hologramas, etc.

Existen dos técnicas generales para la fabricación de estos componentes: 1) mediante láminas retardadoras de materiales cristales líquidos, materiales que presentan una birrefringencia natural, y que pueden orientarse mediante técnicas de fotoalineamiento [2], y 2) mediante materiales nanoestructurados, que introducen una birrefringnecia efectiva [3]. En ambos casos, uno de los aspectos más relevantes para obtener una buena eficiencia es que el retardo de la lámina retardadora sea un múltiplo impar de π radianes (retardador de media onda).

Un aspecto que es bien conocido en los retardadores es la generación de colores de birrefrigencia cuando se observan bajo luz polarizada. El objetivo de este trabajo es justamente mostrar como los colores de birrefringencia pueden emplearse como una herramienta muy útil para obtener una rápida y simple caracterización de los elementos de fase geométrica.

2. Sistema experimental y resultados espectrales

Para la caracterización precisa del retardo de los elementos analizados, se usa un sistema experimental desarrollado en el Laboratorio TecnOPTO de la Universidad Miguel Hernández de Elche, en el cual se emplea una fuente de luz térmica de espectro continuo, y se emplea para iluminar una muestra retardadora situada entre polarizadores paralelo y/o cruzados. La luz transmitida por el sistema se analiza mediante un espectrómetro, y a partir de la transmisión espectral puede derivarse de forma precisa la función de retardo espectral [4]. El sistema desarrollado nos permite caracterizar tanto en el rango visible (VIS) como en el rango infra-rojo cercano (NIR), utilizando dos espectrómetros de la marca Stellar-Net para cada rango espectral, modelos STN-BLK-C-SR y STE-RED-WAVE-NIR-512-25, respectivamente.

Cuando se emplea este sistema para analizar elementos retardadores de fase geométrica, el sistema debe adaptarse para poder ser empleado en configuraciones con polarizadores circulares (en lugar de los polarizadores lineales usuales), lo que implica incorporar al sistema retardadores de cuarto de onda

* *e-mail*: i.moreno@umh.es

acromáticos, en nuestro caso rombos de Fresnel de cuarto de onda (FR-QWP) [5]. La figura 1 muestra un esquema del sistema experimental empleado, así como una fotografía del sistema. En este caso, el elemento retardador estructurado que se analiza es una lámina-q (q-plate), un retardador en el que la dirección del eje óptica varía proporcionalmente a la coordenada polar (ángulo azimutal) como $q\theta$, siendo q un número entero o semi-entero. Estas láminas se utilizan para aplicar momento angular orbital de carga topológica $l=2q$ a un haz de luz. Cuando se emplea este sistema para analizar elementos retardadores de fase geométrica, el sistema debe adaptarse para poder ser empleado en configuraciones con polarizadores circulares (en lugar de los polarizadores lineales usuales), lo que implica incorporar al sistema retardadores de cuarto de onda acromáticos, en nuestro caso rombos de Fresnel de cuarto de onda [5].

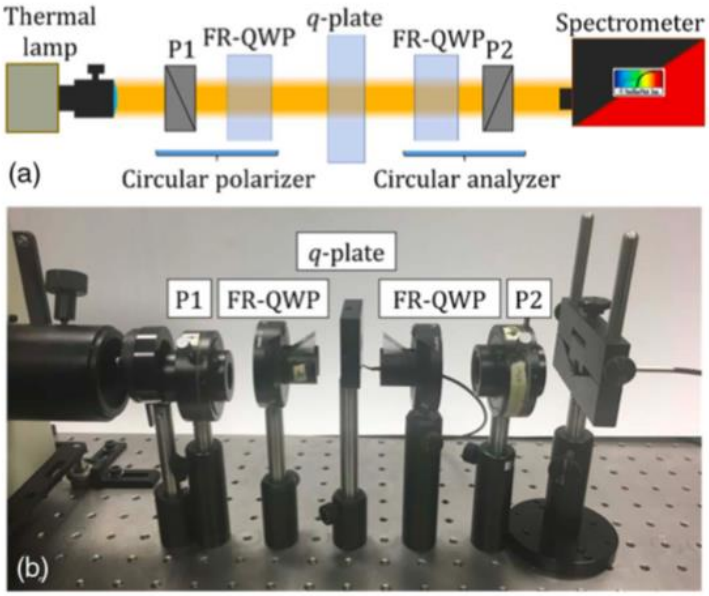


Figura 1: (a) Esquema del sistema de caracterización espectral de retardadores espacialmente estructurados (en este caso una lámina-q o q-plate); (b) Fotografía del sistema experimental. P indica polarizador lineal; FR-QWP indica rombo de Fresnel de cuarto de onda.

Cuando analiza la transmisión de este sistema [6], se obtiene que cuando los polarizadores circulares están alineados cruzados / paralelos se obtiene una función del tipo:

$$i_{cros}^{cir} = \sin^2\left(\frac{\phi(\lambda)}{2}\right),\ i_{par}^{cir} = \cos^2\left(\frac{\phi(\lambda)}{2}\right), \tag{1}$$

en donde $\phi(\lambda)$ representa la función de retardo espectral del retardador, que típicamente sigue la forma correspondiente a un retardador simple, esto es:

$$\phi(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta n \cdot t, \tag{2}$$

en donde t representa el grosor de la capa retardadora y Δn su birrefringencia. En los elementos de cristal líquido, además, la birrefringencia puede variarse mediante la aplicación de un voltaje, de modo que Δn, y por tanto $\phi(\lambda)$, son magnitudes sintonizables.

La figura 2 muestra los resultados espectrales obtenidos para un dispositivo lámina-q optoelectrónico de la marca ArcOptix, a medida que se aplica voltaje al dispositivo. El espectro de la luz transmitida muestra las oscilaciones características de retardadores de orden bajo, que además se reduce a medida que aumenta el voltaje, lo que se observa en un desplazamiento de las oscilaciones espectrales hacia el extremo de bajas longitudes de onda. La identificación de

máximos y mínimos en las curvas espectrales nos permite identificar las longitudes de onda donde se producen retardos múltiplos enteros de π radianes.

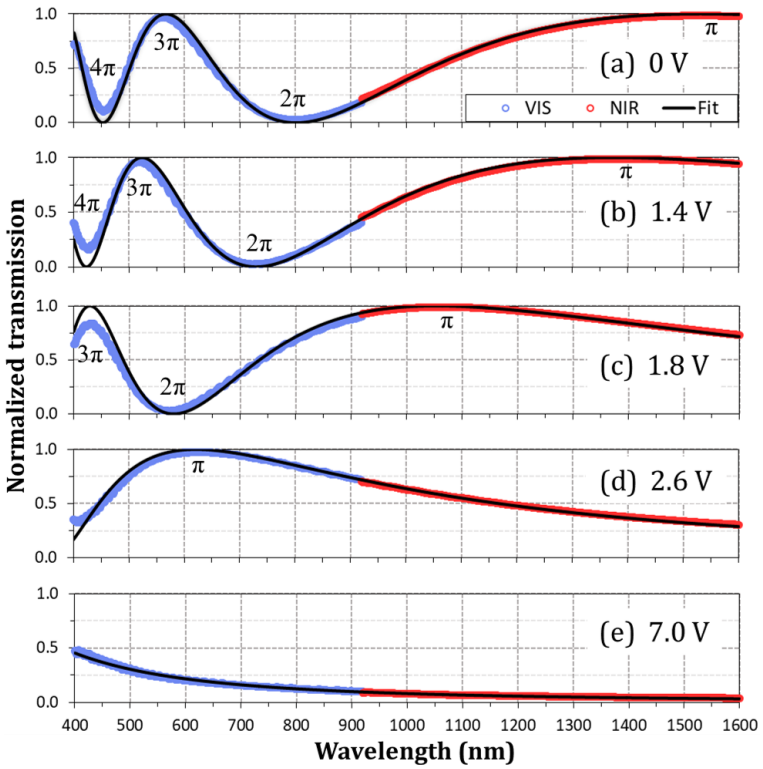


Figura 2: Transmisión normalizada de la lámina-q analizada para diferentes voltajes aplicados al dispositivo. A medida que aumenta el voltaje se observa un desplazamiento de las oscilaciones espectrales hacia longitudes de onda menores. Los datos experimentales se muestran con puntos azules y rojos para las medidas de los espectrómetros VIS y NIR respectivamente. Las curvas en negro indican el mejor ajuste obtenido numéricamente.

3. Resultados colorimétricos

Cuando el dispositivo se coloca entre polarizadores lineales cruzados, se observa una transmisión relativa que depende de la coordenada angular, con dos lóbulos de un color uniforme, tal y como se muestra en la figura 3(a). Cuando los polarizadores lineales están paralelos, entonces se observa una transición angular, de nuevo con dos lóbulos, desde el blanco hasta el color complementario, tal y como muestra la figura 3(b). Estos colores dependen del voltaje aplicado y son observables especialmente cuando la lámina presenta retardos de primer orden, situación que ocurre cuando el valor de retardo 2π (identificado allí como el mínimo de transmisión asociado) transita la región visible del espectro. De acuerdo a los resultados mostrados en la figura 2, esto ocurre para los voltajes entre 1.5V y 2V.

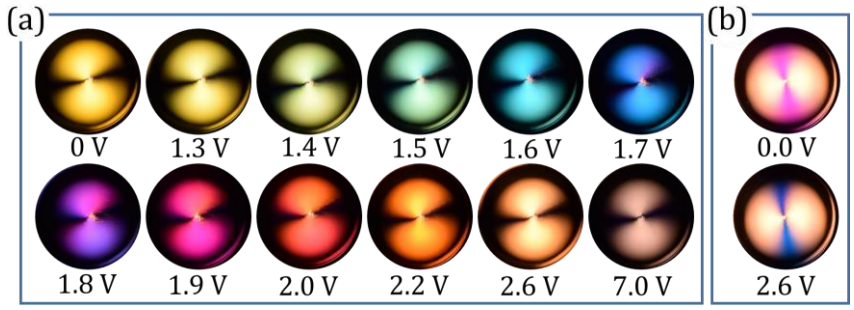


Figura 3: Imágenes del dispositivo lámina-*q* sintonizado a varios voltajes entre polarizadores lineales orientados (a) paralelos y (b) cruzados.

La figura 4(a) muestra la evolución en el diagrama de cromaticidad CIExy del color percibido entre polarizadores cruzados, así como la correspondiente iluminancia para los mismos voltajes, en la figura 4(b) Se observa cómo las coordenadas en el diagrama de cromaticidad CIExy describen una trayectoria aproximadamente elíptica recorriendo tonos verde – azul – magenta – rojo a medida que aumenta el voltaje. También que la función de iluminancia presenta una caída importante entorno al valor de V=1.8V.

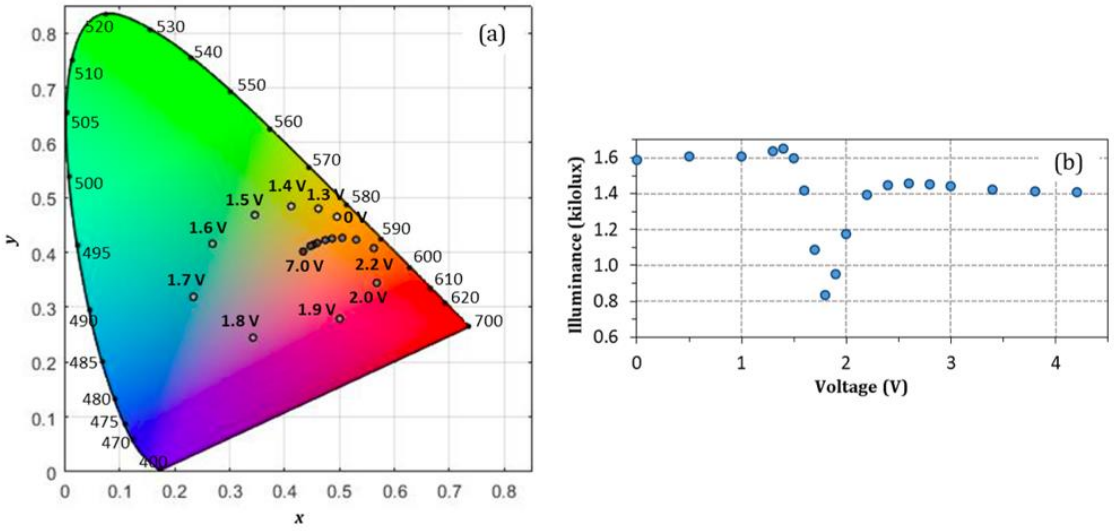


Figura 4: (a) Evolución en el diagrama de cromaticidad CIExy del color percibido del dispositivo lámina-*q* situado entre polarizadores cruzados a medida que cambia el voltaje aplicado; (b) Evolución de la iluminancia para los mismos voltajes.

Por tanto, se concluye que simple observación del color transmitido por el dispositivo entre polarizadores cruzados permite obtener una información estimativa de cuando el dispositivo alcanza los valores de retardo primer orden, que resulta muy útil para obtener una rápida estimación de los rangos de operación.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por la Generalitat Valenciana (proyecto PROMETEO-2017- 154) y por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, (proyecto FIS2015-66328-C3-3-R).

Bibliografía

[1]N. Yu, F. Capasso, "Flat optics with designer metasurfaces," Nat. Mater. 13, 139–150 (2014).

[2] J. Kim, Y. Li, M. N. Miskiewicz, C. Oh, M. W. Kudenov, and M. J. Escuti, "Fabrication of ideal geometric-phase holograms with arbitrary wavefronts," Optica 2, 958–964 (2015).

[3].R. Drevinskas and P. G. Kazansky, "High-performance geometric phase elements in silica glass," APL Photon. 2, 066104 (2017).

[4] A. Messaadi, M. M. Sánchez-López, P. García-Martínez, A. Vargas, I. Moreno, "Optical system for measuring the spectral retardance function in an extended range," J. Eur. Opt. Soc. 12, 21 (2016).

[5] M. M. Sánchez-López, I. Abella, D. Puerto-García, J. A. Davis, I. Moreno, "Spectral performance of a zero-order liquid-crystal polymer commercial q-plate for the generation of vector beams at different wavelengths," Opt. Laser Technol. 106, 168–176 (2018).

[6] D. Marco, M. M. Sánchez-López, P. García-Martínez, I. Moreno, "Using birefringence colors to evaluate a tunable liquid-crystal q-plate", J. Opt. Soc. Am. B 36 (5), D34- D41(2019).

PSYCHOPHYSICAL EVALUATION OF GONIO-APPARENT PRINTED SAMPLES

Federico Grillini*[1], Yuan Tian*[1], Rafael Huertas[1], Luis G. Robledo[1], Juan Luis Nieves[1]

[1]*Departamento de Óptica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada*

*[1]*Máster Color in Science and Industry (COSI)*

http://colorimaginglab.ugr.es/

1. Introduction

Gonio-apparent materials change their color appearance accordingly to the illumination and the viewing direction. Their physical characterization is still in progress, while their psychophysical characterization is still a not fully explored topic. Tomić et al in 2018 investigated the applicability of standard grey scale as the method to measure the visual difference of gonio-apparent printed samples. The limitation, as concluded by the research, is that the range of the visual difference exceeds the range of the gray scale [1]. Moreover, Kirchner et al in 2015 found out that the constant stimuli and the gray scale methods tend to introduce a bias towards lightness in perceptual experiments of color differences, while the 2 Alternative Forced Choice method could avoid the bias [2].

Therefore, the study chooses 2 Alternative Forced Choice (2AFC) as the psychological method to measure the perceived color difference. In this way it is possible to both maintain the interobserver variability when introducing chroma and hue difference of samples and avoid the bias towards lightness.

2. Methods

In the experiment, the color perception of these particular samples is characterized, by a number of observers, in controlled conditions of viewing direction, illumination and surrounds. Since the authors did not dispose of any numerical data regarding the samples, and they could only discriminate them with a label for the color, they decided to build the experiment with a color-difference-based approach.

There are 4 observers by now involved in the experiment, with normal color vision. The sample-set consisted of 9 patches grouped in three categories by the gonio-pigments on: Pink, Green and Blue, each category consisted of 3 patches names: White, Gray and Black. These labels are assigned accordingly to the patches' substrate appearance, so for example a Pink-Gray patch appears pink under a certain viewing angle, and progressively shifts to gray when the angle is changed.

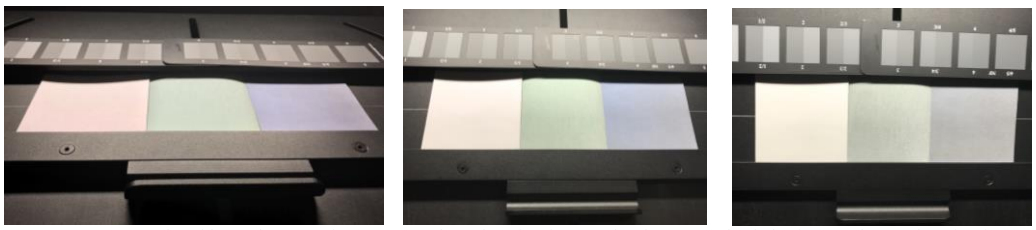


Figure 1: An example of how the experiment sets when the viewing angle changes. The left picture shows the viewing angle of 15°, the middle one shows the viewing angle of 45°; the right one shows the viewing angle of 75°. In this example, the color patches selected from left to right are the sample with pink pigment on white substrate, the one with green pigment on gray substrate, and the one with blue pigment on gray substrate.

The experimental set-up is the following: the observer sits in front of a light booth, switched-on with a D65 illuminant. The patches are arranged in the center of the light-booth, at a distance of approximately 80 cm from the observer. The support on which the patches are placed can be rotated, in order to cause the patches' appearance to change.

The observer is presented with 3 different patches for each trial, each patch comes from one of the 3 main categories (Pink, Green and Blue). The observer's task is to compare 2 pairs that are formed within the trial of patches. The central patch is taken as reference; therefore, the pairs will be: Left patch – Central patch and Central patch – Right patch. The observer selects which patch is "more different" from the reference patch. Only two answers are possible for this question: either Left or Right.

The question that is posed may sound too general. In order to avoid any kind of bias in the observer's answers, terms such as "hue difference" and "color difference" were avoided. For each trial, the observer answers the question 3 times: one for each orientation of the patches: 15°, 45° and 75° (Figure 1).

Each observer is requested to compare 81 trials in total, which means that each patch was used as reference 9 times, with different patches on its sides. The trials' order was randomized so that any kind of adaptation was excluded. Then the authors analyzed the observers' answers in terms of correlation, in order to check the interobserver variability.

3. Results and Discussion

The following table are reported the Pearson's correlation coefficients between every pair of observers.

Observers	A	B	C	D
A	1	0.729	0.669	0.81
B	0.729	1	0.632	0.722
C	0.669	0.632	1	0.642
D	0.81	0.722	0.642	1

Table 1: Interobserver correlation

The variability among the observers' answers is quite high, since the correlation coefficients don't show an encouraging result (Table 1). It is possible that this result comes from a high indecision regarding some pairs, that eventually led to random answers from the observers. These results don't change much if just one viewing orientation singularly considered.

The author also analyzed the correlation between observers when only a particular patch is taken as reference. The table is reported in the following, with the mean correlation amongst all the pairs at different angles (P: pink, G: green, B: blue, W: white, Gy: gray, K: black):

Reference sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Angle	P-W	P-Gy	P-K	G-W	G-Gy	G-K	B-W	B-Gr	B-K
All	0.821	0.761	0.822	0.647	0.461	0.468	0.778	0.72	0.75
15°	0.816	0.837	1	0.534	0.337	0.329	0.831	0.895	0.792
45°	0.816	0.878	0.75	0.774	0.386	0.57	0.774	0.612	0.792
75°	0.895	0.657	0.711	0.774	0.649	0.516	0.831	0.667	0.65

Table 2: Interobserver correlation along each reference sample

From Table 2 the most ambiguous patches could be distinguished. It's evident how it's more difficult to compare the difference between a green color and a pink one with respect to a green color and a blue one.

The next step of the study will be testing more subjects and further analyzing the result of 2AFC for the validation of the psychological response. In addition, the physical measurements of the printed samples will be implemented, including the spectral data, and color related data. The evaluation of the relationship between the perceived difference and the measured color difference will be implemented.

References

[1] Tomić, Ivana & Huertas, Rafael & Gómez-Robledo, Luis & Dedijer, Sandra & Jurič, Ivana. (2018). APPLICABILITY OF STANDARD GREY SCALE FOR REPORTING PERCEIVED COLOR DIFFERENCE OF PRINTS ENHANCED WITH PEARLESCENT PIGMENTS. 77-86. 10.24867/GRID-2018-p9.

[2] Kirchner, E & Dekker, Niels & Lucassen, Marcel & Njo, Lan & van der Lans, Ivo & Urban, Philipp & Huertas, Rafael. (2015). How psychophysical methods influence optimizations of color difference formulas. Journal of the Optical Society of America A. 32. 357. 10.1364/JOSAA.32.000357.

Caracterización colorimétrica y betalaínica de plásticos antioxidantes de etilen-vinil-alcohol y remolacha roja

María Jesús Cejudo-Bastante[1], Cristina Cejudo-Bastante[2], Marlene Cran[3], Francisco Heredia[1*] y Stephen W. Bigger[3]

1 Laboratorio Color y Calidad de Alimentos, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, 41012 Sevilla, Spain

2 Chemical Engineering and Food Technology Department, Wine and Agrifood Research Institute (IVAGRO), Universidad de Cádiz, 11510, Spain

3 Institute for Sustainable Industries and Liveable Cities, Victoria University, Werribee Campus, PO Box 14428, Melbourne 8001, Australia

http://www.color.us.es, *heredia@us.es

1. Resumen

Se han desarrollado y caracterizado plásticos basados en el copolímero etilen-vinil-alcohol (EVOH) con remolacha roja rica en betalaínas, para ser usados como envases bioactivos para productos alimentarios. Se han utilizado dos formulaciones diferentes de remolacha roja (en polvo y extracto) y se han incorporado al film de EVOH en distintas proporciones (0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 % (p/p)). Los films resultantes han sido analizados desde el punto de vista del color, composición en betalaínas y poder antioxidante. La incorporación de remolacha roja al copolímero EVOH en cualquiera de sus formulaciones resultó en plásticos con una coloración púrpura, aunque la adición del extracto produjo un plástico con mayor intensidad de color, mientras que el film con polvo tuvo una mejor barrera de protección contra la luz UV-vis. Nuevas oportunidades para la diversificación de envases de plásticos con propiedades antioxidantes puede ser posible mediante el uso de extractos o polvo de remolacha roja obtenidos de fuentes naturales.

Palabras clave: Remolacha roja, copolímero de etilen-vinil-alcohol, colorimetría, envases antioxidantes, betalaínas.

2. Introducción

Hoy en día, la demanda de alimentos mínimamente procesados con una vida útil más larga está creciendo de manera significativa. Como resultado, la industria alimentaria se está enfocando en la modificación de los envases alimentarios como una posible solución a esta necesidad. Así, el desarrollo de nuevas películas de envasado que utilizan sustancias bioactivas obtenidas de fuentes naturales y que están típicamente relacionadas con el incremento de la seguridad y calidad alimentaria está creciendo enormemente [1]. La remolacha roja (*Beta vulgaris* L. sp) pertenece a la familia Chnopodiaceae y es una raíz roja rica en polifenoles y pigmentos hidrosolubles llamados betalaínas. Estos pigmentos están presentes en un número restringido de familias de la orden Caryophyllales y el género Amanita de las Basidiomicetes [2]. La estructura química de las betalaínas consiste en un grupo cromóforo nitrogenado unido a un sistema resonante con dobles enlaces conjugados [3]. Los dos principales tipos de betalaínas están basados en el ácido betalámico como unidad común: a) betacianinas, de color rojo-violáceo, formada de la condensación del ácido betalámico y el anillo ciclo-Dopa, y un residuo adicional de derivados de ácidos hidroxicinámicos o azúcares, y b) las betaxantinas, de color amarillo-anaranjado, procedentes de la unión entre el ácido betalámico y aminas o aminoácidos. A las betalaínas se les atribuyen propiedades beneficiosas para la salud humana como actividad antioxidante, antiviral, anti-inflamatoria y anticancerígena [4]. El objetivo de este estudio fue el desarrollo de un film antioxidante basado en el copolímero EVOH combinado con remolacha roja rica en betalaínas. Dos diferentes preparaciones de remolacha roja (extracto y polvo) en diversas concentraciones fueron utilizadas para la formulación del plástico. El estudio se enfocó en la caracterización colorimétrica, antioxidante y composición betalaínica.

3. Material y Métodos

Muestras. Se han analizado remolachas en dos formulaciones diferentes: polvo y extracto (*Beta*

vulgaris). Las remolachas se pelaron y cortaron en pequeños trozos de 1 cm^2 y se liofilizaron para obtener el polvo de remolacha roja (RBP). Para la obtención de los extractos (RBE), 3 mL de metanol y 3 mL de agua con 50 mM de ascorbato sódico se añadieron a 0.1 g de RBP. Tras agitación a 200 rpm durante 10 minutos en oscuridad, las muestras se centrifugaron a 4000 rpm y 10 ºC durante 5 minutos [5]. Los sobrenadantes se separaron y el proceso se repitió hasta la completa decoloración del material. Los procesos de extracción se realizaron por triplicado.

Análisis de la composición en betalaínas. La separación, identificación y semi-cuantificación de la composición en betalaínas se realizó utilizando un cromatógrafo de líquidos Agilent 1200 equipado con una bomba cuaternaria, detector UV-visible de diodos, inyector automático y el software ChemStation [5].

Preparación del film. 1 g de pellets de EVOH se disolvieron en 10 mL de una mezcla 1-propanol/agua en un ratio de 1:1 (v/v) a 70 ºC [6]. Cuando la solución se enfrió en torno a 30 ºC, se añadieron las muestras de remolacha roja (RBP y RBE) en diferentes proporciones (0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5% w/w respecto a la masa de EVOH). Los plásticos se prepararon añadiendo la solución a una barra de revestimiento de superficie plana y templada (35 ºC) para facilitar la evaporación del solvente. Los plásticos sin adición de RBP y RBE se consideraron como control. Todos los plásticos tuvieron un grosor de 3 ± 0.1 µm.

Análisis del color. Las medidas colorimétricas se realizaron con un espectrofotómetro Konica Minolta CR-400 Chroma Meter (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan), obteniéndose los parámetros de claridad, croma y tono (L^*, C^*_{ab} y h_{ab}). Un espectrofotómetro Varian CARY 300 Scan Uv-Visible se utilizó para el cálculo de la transparencia y opacidad [7].

Actividad antioxidante. La capacidad antioxidante se determinó usando el reactivo 2,2-difenil-1-picrilhidracil (DPPH) [8]. Trozos de plástico de 2 cm^2 se introdujeron en 4 mL de 6 ×10-5 mol L^{-1} DPPH en etanol [9]. La disminución de la absorbancia se midió en un espectrofotómetro Varian Cary 300 Scan UV-visible a 517 nm en oscuridad cada 2 minutos durante 60 minutos hasta el estado de equilibrio. Se determinó el % inhibición (% I) como la cantidad de DPPH que reaccionó con una cantidad de antioxidante, calculada como medida de la absorbancia inicial y final del DPPH (A_o, A_f) tras 1 hora (% I = $100 \cdot (A_0 - A_i)/A_o$), y fue expresada como % I / 100 mg de plástico.

4. Resultados y Discusión

En la Fig. 1 se muestra el cromatograma y la identificación del perfil de betalaínas de RBP. Entre las betacianinas, se identificaron betanina e isobetanina, previamente descritas en remolacha roja [11], así como las betaxantinas vulgaxantina I (glutamina-betaxantina) y otras derivadas de la histidina, ácido aminobutífico, prolina, valina, isoleucina, leucina y fenilalanina. Betanina fue claramente la betalaína mayoritaria, seguida de isobetanina y vulgaxantina I, representando alrededor del 95% del total.

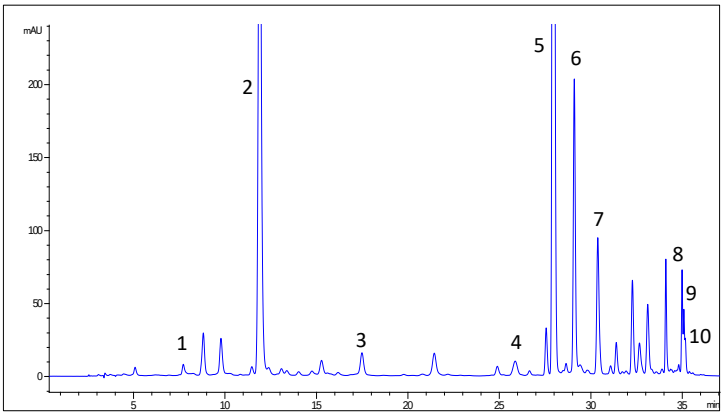


Figura 1: Cromatograma de las betalaínas de RBE a 485 nm: betacianinas: betanin (5) and isobetanin (6); betaxantinas derivadas de: histidina (muscaarina, 1), glutamina (vulgaxantina I, 2), ácido aminobutírico (3), prolina (indicaxantina, 4), valina (7), isoleucina (8), leucina (vulgaxantina IV, 9), y fenilalanina (10).

La Tabla 1 muestra los parámetros colorimétricos de los plásticos control y los que contienen RBE y RBP en su formulación a diferentes proporciones. Los plásticos control fueron transparentes y prácticamente incoloros (a^*, -0.41 and b^*, 3.21), mientras que diferencias de color significativas ($p < 0.05$) se observaron con concentraciones de 1.5% o superiores de RBE y RBP. Estos films mostraron un tono

significativamente ($p < 0.05$) más violáceo (h_{ab}) y menor claridad (L^*), y en el caso de EVOH-RBE una intensidad de color significativamente ($p < 0.05$) superior (C^*_{ab}) [10]. Además, la incorporación de RBP y RBE produjo un film más opaco y menos transparente, resultando un film con unas propiedades barrera frente la luz UV-vis que podrían minimizar la descomposición acelerada de los alimentos fotosensibles. En el presente estudio, las diferencias fueron significativas ($p < 0.05$) incluso con la menor cantidad de RBE o RBP añadida (0.1%), e incrementó sustancialmente cuando las proporciones aumentaron. La comparación del tipo de aditivo de remolacha mostró que los plásticos que contenían RBP presentaron estadísticamente ($p < 0.05$) menor intensidad cromática y tono pero mayor opacidad que los que contenían la misma proporción de RBE. Este hecho sugiere que RBP proporciona films activos con mejores propiedades barrera frente a la luz UV-vis que RBE, probablemente debido a otros compuestos presentes en RBP.

Tabla 1. Características colorimétricas de los plásticos EVOH control y con distintas proporciones de remolacha roja (RBP y RBE).

	% RB	L^*		C^*_{ab}		h_{ab}		Transparency		Opacity	
EVOH	0.0	95.75	bA	3.25	aA	97.24	aB	1165.80	aA	0.15	aA
EVOH-RBP	0.1	95.83	AB	3.32	A	98.27	B	643.67	BC	0.25	BC
	0.5	95.44	B	3.42	AB	93.40	B	644.00	BC	0.25	BC
	1.0	95.09	B	3.25	A	83.89	B	531.41	DEFG	0.32	DEFG
	1.5	94.98	B	3.13	A	79.53	A	544.17	DEF	0.30	DEFG
	2.0	95.39	B	3.20	A	83.77	B	549.43	DEF	0.29	DEFG
	2.5	94.85	A	3.16	A	80.81	A	517.89	G	0.29	DEFG
EVOH-RBE	0.1	95.53	b	3.29	a	98.18	a	961.00	b	0.17	b
	0.5	95.42	b	3.44	b	95.46	ab	720.19	c	0.22	c
	1.0	95.21	b	3.53	b	90.07	bc	637.17	def	0.24	def
	1.5	95.12	b	3.64	bc	87.81	c	630.83	def	0.23	cdef
	2.0	95.02	a	3.71	bc	84.40	c	623.48	def	0.25	def
	2.5	94.63	a	3.98	c	76.67	d	580.93	g	0.29	g

Diferentes letras mayúsculas y minúsculas en la misma columna denotan diferencias significativas según el test Tukey ($p < 0.05$) entre EVOH y EVOH-RBP, y EVOH-RBE, respectivamente.

La Fig. 2 muestra la actividad antioxidante de todos los films analizados, expresados como % I / 100 mg film. Los resultados muestran que los plásticos con un contenido a partir del 1% de RBP y RBE mostraron actividad antioxidante. El % I de los films EVOH-RBE fueron significativamente ($p < 0.05$) superiores que el de los plásticos EVOH-RBP a todas las concentraciones estudiadas, demostrándose que el RBP también contiene otros compuestos que no son antioxidantes. Como resultado, aunque ambos tipos de plásticos ofrecen propiedades antioxidantes, mayores cantidades de remolacha en polvo son necesarias para ofrecer la misma capacidad antioxidante que los extractos de remolacha.

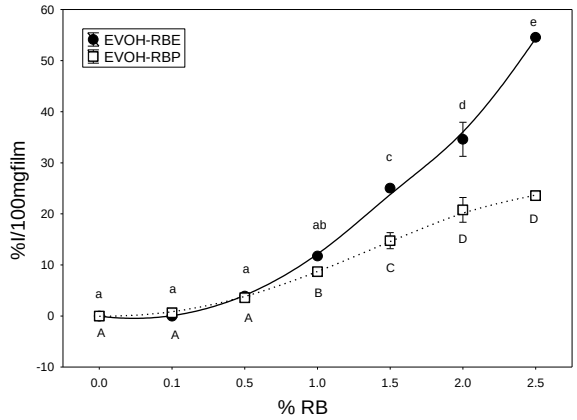


Figura 2. Porcentaje de inhibición (%I/100 mg film) de los plásticos EVOH control (0.0%) and los que contienen diferentes proporciones de RBP y RBE. Diferentes letras mayúsculas y minúsculas en la misma línea denotan diferencias significativas según el test de Tukey ($p < 0.05$) entre los films EVOH control y EVOH-RBE, y entre el control y EVOH-RBP, respectivamente.

Agradecimientos: M.J.C.B. agradece al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte la concesión de la beca José Castillejo. Los autores también agradecen al servicio de Biología del Edificio Celestino Mutis (CITIUS) de la Universidad de Sevilla.

Bibliografía

[1] I. S. M. A. Tawakkal, M. J. Cran, S. W. Bigger, "Effect of kenaf fibre loading and thymol concentration on the mechanical and thermal properties of PLA/kenaf/thymol composites", *Industrial Crops and Products,* vol. 61**,** pp. 74-83 (2014).

[2] P. G. Waterman. *Alkaloid chemosystematics. In The Alkaloids. Chemistry and Pharmacology* San Diego, CA. 1998.

[3] K. M. Herbach, F. C. Stintzing, R. Carle, "Betalain stability and degradation – Structural and chromatic aspects", *Journal of Food Science,* vol. 71, pp. R41-R50 (2006).

[4] M. K. Reddy, R. L. Alexander-Lindo, M. G. Nair, "Relative inhibition of lipid peroxidation, cyclooxygenase enzymes, and human tumor cell proliferation by natural food colors", *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* vol. 53**,** pp. 9268-9273 (2005).

[5] M. J. Cejudo-Bastante, M. Chaalal, H. Louaileche, J. Parrado, F. J. Heredia, "Betalain profile, phenolic content, and color characterization of different parts and varieties of *Opuntia ficus-indica*", *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* vol. 62**,** pp. 8491-8499 (2014).

[6] V. Muriel-Galet, G. López-Carballo, R. Gavara, P. Hernández-Muñoz, "Antimicrobial food packaging film based on the release of LAE from EVOH", *International Journal of Food Microbiology,* vol. 157**,** pp. 239-244 (2012).

[7] J. I. Lozano-Navarro, N. P. Díaz-Zavala, C. Velasco-Santos, A. L. Martínez-Hernández, B. I. Tijerina-Ramos, M. García-Hernández, J. L. Rivera-Armenta, U. Páramo-García, A. I. Reyes-De La Torre, "Antimicrobial, optical and mechanical properties of Chitosan–Starch films with natural extracts", *International Journal of Molecular Sciences,* vol. 18, pp E997 (2017).

[8] W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier, C. Berset, "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity", *LWT - Food Science and Technology*, vol. 28, pp. 25-30 (1995).

[9] C. Cejudo Bastante, L. Casas Cardoso, C. Mantell Serrano, E. J. Martínez De La Ossa, "Supercritical impregnation of food packaging films to provide antioxidant properties", *Journal of Supercritical Fluids,* vol. 128**,** pp. 200-207 (2017).

[10] V. Muriel-Galet, M. J. Cran, S. W. Bigger, P. Hernández-Muñoz, R. Gavara, "Antioxidant and antimicrobial properties of ethylene vinyl alcohol copolymer films based on the release of oregano essential oil and green tea extract components", *Journal of Food Engineering,* vol. 149**,** pp. 9-16 (2015).

[11] S. Montes-Lora, F. J. Rodríguez-Pulido, M. J. Cejudo-Bastante, F. J. Heredia, "Implications of the Red Beet Ripening on the Colour and Betalain Composition Relationships" *Plant Foods for Human Nutrition,* vol. 73**,** pp. 216-221 (2018).

Colorimetría Diferencial en la evaluación del potencial colorante de pigmentos antociánicos naturales

M. Lourdes González-Miret Martín*, María Motos Aragón, Francisco J. Heredia Mira y Belén Gordillo Arrobas

Laboratorio Color y Calidad de Alimentos, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, 41012 Sevilla, Spain

http://www.color.us.es

1. Introducción

El color se considera uno de los atributos de calidad más importantes de los alimentos, con un papel fundamental en el proceso de elección del consumidor [1]. Influye de forma determinante sobre su aceptabilidad y apetencia, incluso sobre la percepción de su sabor, ya que el cerebro lo asocia con sus propiedades sensoriales y su composición química [2].

En ocasiones, el color natural se modifica y deteriora durante el procesado y/o almacenamiento de los alimentos. La industria trata de minimizar estos efectos indeseables mediante el uso de colorantes, para reproducir el color natural, dar homogeneidad y corregir las posibles desviaciones [3]. Los colorantes de uso en alimentos pueden ser sintéticos (obtenidos por síntesis química) o naturales (extraídos de materias comestibles de la naturaleza). Estos últimos se consideran más seguros, incluso beneficiosos para la salud ya que en algún caso poseen valor nutritivo y otorgan funcionalidad al producto [4]. Es el caso de los pigmentos antociánicos, conocidos por su actividad antioxidante y su efecto protector frente a ciertas enfermedades [5], incluso pueden actuar como conservantes y/o antioxidantes [3]. Por ello, en la actualidad, las industrias muestran una creciente tendencia a reemplazar los colorantes sintéticos por naturales, a pesar de algunas desventajas tecnológicas de estabilidad, influencia del pH o necesidad de dosis más elevadas.

Derivados lácteos como el yogur sabor fresa deben su color a colorantes, generalmente sintéticos por su mayor estabilidad. En alimentos de acidez moderada como el yogur, los antocianos acilados pueden ser una alternativa. Los antocianos están autorizados por la UE como colorantes alimentarios naturales (E163), con dosis permitida *quantum satis* (en cantidad necesaria, no limitada). Son flavonoides, con un alto grado de conjugación (cromóforo de 8 dobles enlaces con carga positiva), cuya gama de colores va del rojo-anaranjado al azul en función del pH. Además, se considera que su consumo supone un aumento en la ingesta de antioxidantes de la población, aportando múltiples beneficios para la salud [5].

2. Parte experimental

Este estudio plantea la aplicación de la Colorimetría Diferencial para evaluar la eficacia y la estabilidad colorante de una selección de colorantes comerciales ricos en antocianos acilados. Se ensayaron 5 colorantes antociánicos obtenidos de diversas fuentes vegetales (uva, zanahoria morada, patata morada, col morada y rábano), proporcionados por IFC Solutions (Linden, NJ, USA), y utilizados en la coloración de un yogur natural.

2.1. Características espectrales y colorimétricas de los colorantes naturales comerciales

Se prepararon, en agua ácida (0.1% ácido fórmico), disoluciones que contuvieran 50 mg/L de antocianos totales, de cada colorante: rábano (3.75 g/L), col morada (15 g/L), patata morada (15 g/L), zanahoria morada (15 g/L) y uva tinta (3 g/L). En cada una se midió el color mediante espectrofotometría de transmisión (Agilent 8453 UV-visible), y se calcularon los parámetros CIELAB (Tabla 1) considerando el iluminante estándar D65 y el observador de 10°, a $\Delta\lambda$=1 nm. La Figura 1 muestra el espectro de cada disolución de colorante comercial.

* *e-mail*: miret@us.es

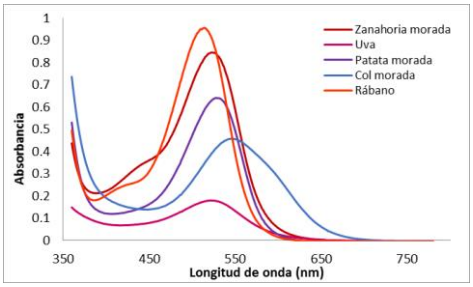


Figura 1. Espectro de absorción representativo de cada disolución de colorante comercial.

	Uva	Zanahoria morada	Patata morada	Col morada	Rábano
L*	91.38 ± 0.67	72.95 ± 1.12	78.35 ± 0.12	74.48 ± 0.76	77.26 ± 0.65
a*	15.07 ± 1.2	51.21 ± 1.31	47.29 ± 0.33	21.21 ± 0.79	51.03 ± 0.53
b*	-1.89 ± 0.17	3.58 ± 0.88	-10.20 ± 0.02	-21.25 ± 0.99	8.96 ± 0.31
C^*_{ab}	15.18 ± 1.21	51.33 ± 1.37	48.38 ± 0.33	30.04 ± 0.22	51.81 ± 0.58
h_{ab}	-7.14 ± 0.19	3.99 ± 0.89	-12.17 ± 0.08	-45.05 ± 2.38	9.96 ± 0.23

Tabla 1. Valores medios (desviación estándar n=3) de los parámetros colorimétricos de cada disolución de colorante comercial.

2.2. Evaluación de la eficacia colorante

Se adquirieron en el mercado 19 yogures sabor fresa comerciales, seleccionados de manera representativa considerando los factores de variabilidad del producto como la marca, la textura, el porcentaje de grasa, o contenido en lactosa y azúcares añadidos (intervalo de pH 3.87 - 4.50; pH medio de 4.28 ± 0.14). Se midió el color mediante espectrofotometría de reflectancia difusa (Konica Minolta CM-5) y se calculó el color medio (Tabla 2).

A partir de estos valores, y de acuerdo con la Ec. (1) [6], se calculó el parámetro Color Total (diferencia de color en relación al blanco de referencia) tanto del yogur sabor fresa comercial (E_{YC}), como de un yogur natural (E_{YN}) que se usó como base para la aplicación de los colorantes comerciales estudiados (Tabla 2).

$$E = [(L^* - 100)^2 + (a^* - 0)^2 + (b^* - 0)^2]^{1/2} \quad (1)$$

Yogur	L*	a*	b*	C^*_{ab}	h_{ab}	E
Sabor fresa	80.70 ± 4.02	12.07 ± 3.58	4.20 ± 2.18	12.78 ± 2.60	19.20 ± 15.56	23.15±4.48
Natural	90.58 ± 0.27	-2.64 ± 0.04	9.93 ± 0.09	10.28 ± 0.09	104.86° ± 0.06	13.94 ± 0.25

Tabla 2. Parámetros CIELAB (n=3, media ± DS) y Color Total del yogur sabor fresa medio y del yogur base natural.

Utilizando el yogur natural, se prepararon yogures coloreados a distintas concentraciones de colorante (1.5-100 mg/100 mL yogur) según la fuente natural (Fig. 2). Se midió el color y se seleccionaron, en cada caso, las concentraciones cuyo Color Total se ajustaba mejor al valor de E_{YC}, que fueron: rábano 10 mg/100 mL, uva 12.5 mg/100 mL, patata morada 17 mg/100 mL, zanahoria morada y col morada 37.5 mg/100 mL, en ambos casos.

Como índice de eficacia colorante de los productos comerciales se consideró la cantidad de colorante que mejor reproduce el Color Total medio de yogur sabor fresa comercial. Así, los resultados indicaron una mayor eficacia (es decir, menor concentración necesaria) del colorante comercial de rábano para reproducir el Color Total del yogur sabor fresa medio.



Figura 2. Muestras de yogures coloreados a distintas concentraciones de los diferentes colorantes naturales comerciales.

La menor diferencia de color (ΔE^*_{ab}) entre el Color Total de los yogures coloreados (EZ, EP, EC, EU, ER) y el Color Total medio del yogur sabor fresa comercial (E_{YC}) fue para los colorantes de rábano y zanahoria morada (2.79 y 3.51 unidades, respectivamente), y la mayor para el de uva (8.65 unidades). En el caso de la patata morada se observó una diferencia de color mínima para dos concentraciones (5.99 y 5.63 unidades para 17 y 12.5 mg/100 mL, respectivamente).

El desglose de la diferencia de color en los correspondientes valores cuadráticos de las variables establece la contribución de los distintos atributos (%ΔL, %ΔC, %ΔH) en ΔE^*_{ab} (Fig. 3). En el caso del colorante de uva, esta contribución es marcadamente mayor para las variables cuantitativas (L* y C^*_{ab}) y casi nula para el tono. Las variaciones cuantitativas también son mayores para zanahoria morada, col morada y patata morada-17. En el caso de patata morada y rábano, la diferencia de color es sobre todo cualitativa ya que se debe en mayor medida al tono.

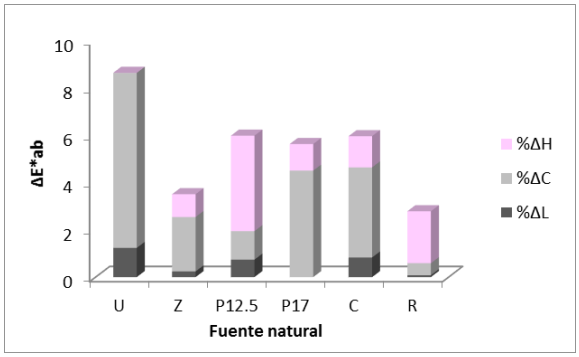


Figura 3. Diferencias de color y contribución de claridad, croma y tono (%ΔL, %ΔC, %ΔH) a esa diferencia para la máxima eficacia de los colorantes.

Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos al comparar los valores medios de claridad croma y tono (L*, C^*_{ab} y h_{ab}) de cada yogur coloreado a la concentración de máxima eficacia de los colorantes (Tabla 3) con el color del yogur comercial sabor fresa medio (Tabla 2): en cuanto al tono, el colorante de uva es el que mejor lo reproduce y el de patata morada-12.5 es el que más difiere, mientras que, los colorantes de rábano y patata morada-12.5 son los que más se acercan al valor de croma del yogur sabor fresa comercial y el de uva el que presenta una mayor discrepancia.

Colorante comercial	L*	C^*_{ab}	h_{ab}
Uva	77.43 ± 0.01	4.78 ± 0.01	17.22 ± 0.11
Zanahoria morada	79.78 ± 0.00	9.94 ± 0.01	9.86 ± 0.06
Patata morada 17	78.6 ± 0.00	10.09 ± 0.01	-5.81 ± 0.08
Patata morada 12.5	80.74 ± 0.01	7.74 ± 0.01	4.69 ± 0.01
Col morada	78.48 ± 0.01	8.01 ± 0.02	3.24 ± 0.30
Rábano	80.22 ± 0.01	11.59 ± 0.02	7.52 ± 0.10

Tabla 3: Parámetros colorimétricos (n=3, media ± DS) de yogur líquido a la concentración de colorante comercial de máxima eficacia para las distintas fuentes naturales

2.3. Evaluación de la estabilidad

Los yogures preparados con los colorantes naturales a la concentración de máxima eficacia se mantuvieron almacenados en refrigeración (4 °C) durante 21 días, tiempo medio de consumo preferente estimado para un yogur comercial. A lo largo de este tiempo se midió el color y se evaluó la estabilidad cromática de los yogures mediante el cálculo de la diferencia de color (ΔE^*_{ab}) respecto al color inicial.

Los yogures mantuvieron su intensidad cromática inicial (valores de ΔC^*_{ab} cercanos a 0), con tendencia a pérdida (rábano -2.15 u., patata morada -1.51 u.). La claridad permaneció prácticamente estable en todos los casos (ΔL^* entre -0.5 y 0.7 u.). El tono es el parámetro que mayores cambios sufre durante el almacenamiento, aumentando en todos los casos (Δh_{ab} positivo), los mayores para patata morada, uva, y col morada (10.36, 9.88 y 9.15, respectivamente). En el caso del colorante de uva, es la fuente más rica en antocianos y, además, es muy abundante en la naturaleza. Presentó una buena estabilidad en yogur, por lo que, aunque no reproduce el color de un yogur sabor fresa, se podría aplicar para otros sabores (frutas del bosque, arándanos, etc.) asociados con colores más violáceos.

De manera global, en todos los casos, la diferencia de color (ΔE^*_{ab}) mostró una tendencia creciente en el tiempo. Los colorantes de uva, zanahoria morada y patata morada mostraron las mayores evoluciones en los 4 primeros días de almacenamiento seguido de una cierta estabilización. Los de col morada y rábano sufrieron una variación creciente y progresiva durante todo el almacenamiento. No obstante, la diferencia de color se mantuvo por debajo de 3 unidades CIELAB, especialmente en los colorantes de uva, zanahoria morada y patata morada. Estos resultados indican que los colorantes antociánicos evaluados presentan una buena estabilidad en el tiempo en condiciones de almacenamiento en las que se ha de conservar el yogur (en oscuridad y refrigeración 4 °C).

Agradecimientos: P11-AGR-7843 (Junta de Andalucía).

Bibliografía

[1] A. Arocas, P. Varela, M. L. González-Miret, A. Salvador, F. J. Heredia, S. M. Fiszman, "Differences in colour gamut obtained with three synthetic red food colourants compared with three natural ones: pH and heat stability", Int. J. Food Prop., **16**, p. 766 (2013).

[2] K. Solymosi, N. Latruffe, A. Morant-Manceau, B. Schoefs. Food colour additives of natural origin. En: M. J. Scotter, *Colour Additives for Foods and Beverages* (Woodhead Publishing, Cambridge, 2015).

[3] N. Martins, C.L. Roriz, P. Morales, L. Barros, I.C.F.R. Ferreira. "Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agroindustries to ensure consumer expectations and regulatory practices", Trends Food Sci. Technol., **52**, p. 1 (2016).

[4] I.N. Pasias, A.G. Asimakopoulos, Y N.S. Thomaidis, Food colours for bakery products, snack foods, dry soup mixes, and seasonings. En: M. J. Scotter, *Colour Additives for Foods and Beverages* (Woodhead Publishing, Cambridge, 2015).

[5] J. He, M. M. Giusti. "Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties", Annu. Rev. Food. Sci. Technol., **1**, p. 163 (2010).

[6] B. Gordillo, F. J. Rodríguez-Pulido, M. L. González-Miret, N. Quijada-Morín, J. C. Rivas-Gonzalo, I. García-Estévez, M. T. Escribano-Bailón, "Application of differential colorimetry to evaluate anthocyanin-flavonol-flavanol ternary copigmentation interactions in model solutions", J. Agric. Food Chem. **63**, p. 764 (2015).

Influencia de la microoxigenación en el valor de las coordenadas cromáticas del vino tinto y sus fracciones polifenólicas.

J. Federico Echávarri Granado[1*], Sara Ferrero del Teso[2], Ana Gonzalo Diago[2], Maria-Pilar Sáenz Navajas[3], Vicente Ferreira González[3] y Purificación Fernández Zurbano[2]

[1]*Departameno de Química de la Universidad de La Rioja. c/ Madre de Dios, 53, 26006. Logroño*

[2]*Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (UR-GR-CSIC). Finca La Grajera, Ctra. de Burgos Km. 6 (LO-20 - salida 13). 26007 Logroño.*

[3]*Laboratorio de Análisis del Aroma y Enología (LAAE), Departamento de Química Analítica, Universidad de Zaragoza, Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2) (UNIZAR-CITA), Unidad Asociada al ICVV. c/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza.*

http://www.laae.es

Resumen

La microoxigenación (MOX) es una técnica ampliamente utilizada por los enólogos para mejorar las características colorimétricas de los vinos tintos. Sin embargo, hoy en día, esta técnica se aplica de forma empírica sin saber cuál es la dosis más adecuada de acuerdo con la composición del vino. En este trabajo se estudia la influencia de la MOX en la variación de las características cromáticas de un vino joven y de sus distintas fracciones fenólicas. Los resultados muestran que la presencia de la fracción ácida induce a mayores velocidades de consumo de oxígeno y que las muestras microoxigenadas presentan valores más altos de la coordenada a* y menores de la coordenada b* que las mantenidas en anoxia, lo que produce variaciones importantes en el color de las muestras

1. Introducción

Las relaciones del oxígeno con el vino han sido objeto de estudio desde hace mucho tiempo [1]. En la actualidad se acepta que la exposición del vino tinto a una exposición moderada del oxígeno es beneficioso para las características organolépticas del vino (color, aroma, sabor y sensaciones quemestésicas). Desde este punto de vista, la microoxigenación (MOX) es una técnica ampliamente utilizada durante la elaboración de los vinos tintos con el objetivo de provocar un impacto positivo sobre las características sensoriales en general, y en concreto sobre el color ya que éste tiene una gran importancia en la aceptabilidad del vino [2]. Entre los factores que determinan la evolución y la estabilidad del color están las reacciones que los antocianos, principales responsables del color de los vinos experimentan con otros polifenoles como flavanoles y taninos, con ciertos metabolitos generados durante la elaboración como el acetaldehído y ácido pirúvico y en presencia de oxígeno entre otros [3-6]. En general los pigmentos derivados de los antocianos son más estables que los antocianos de los que proceden, lo que ayuda a entender la estabilización del color del vino cuando existe un correcto manejo del oxígeno [7]. El objetivo de este trabajo ha sido investigar el consumo de oxígeno y la influencia en el color de las distintas fracciones fenólicas procedentes de un vino tinto en condiciones de MOX (30 mg/L/mes).

2. Material y Métodos

Muestras. Un vino tinto tempranillo recién acabado de fermentar y las fracciones fenólicas obtenidas a partir de él [8], fueron liofilizadas y redisueltas en un vino modelo (13% etanol; 5 mg/L Fe; 0.5 mg/L Cu; 15 mg/L acetaldehído; 5 g/L ácido tartárico; pH: 3.6 and 30 mg/L SO_2). 300 mL de todas muestras fueron introducidos en botes de poliestireno cerrados herméticamente para evitar la entrada de O_2 a través

* *e-mail*: federico.echavarri@unirioja.es

del tapón. Todas las muestras fueron microoxigenadas (MOX) y mantenidas en anoxia (A) durante 37 días. En la tabla 1 se muestra los nombres de las muestras y la descripción de la composición fenólica de cada una de ellas. Tanto las muestras microoxigenadas como las de anoxia fueron preparadas por duplicado.

Microoxigenación. Las muestras sometidas a microoxigenación (30 mg/L/mes) se mantuvieron en una cámara a 25º C, a las cuales se midió el oxígeno disuelto mediante sensores PSt6 y PSt3 y el medidor de oxígeno Nomasense (Nomacorc S.A). La medida de oxígeno se realizó de forma continuada durante el tiempo del experimento.

Anoxia. Las muestras se mantuvieron en una cámara de atmósfera inerte (Jacomex) durante todo el tiempo que duró el experimento (<1 ppm de O_2).

Medidas de las coordenadas CIELAB. Finalizado el experimento se realizó la medida del espectro de absorbancia en el visible y se calcularon las coordenadas CIELAB [9-10].

Velocidad Inicial (mg/L/día): Calculado como la pendiente de la cantidad de oxígeno disuelto durante las primeras 24 horas del experimento [11].

Velocidad Media (mg/L/día): Calculado como la pendiente de la cantidad de oxígeno disuelto del 2º al 37º día de microoxigenación [11].

Muestra	Descripción	Composición
$F1_a$	Fracción conteniendo compuestos no tánicos. Con los ácidos del vino	Ácidos mayoritarios, ácidos fenólicos, flavanoles, flavonoles, PAs (dimeras y trímeras), antocianos
$F1_{sa}$	Fracción conteniendo compuestos no tánicos. Sin los ácidos del vino	Flavanoles, flavonoles, PAs (dimeras y trímeras), antocianos
F12	Fracción sin ácidos y sin antocianos	Flavanoles, flavonoles, PAs (dimeras y trímeras)
F13	Fracción sin ácidos y sin fenoles neutros	Antocianos
F2	Fracción tánica	Taninos (> de 3 unidades)
$F1_a$ + F2	Mezcla de fracción $F1_a$ y F2. Igual concentración que en el vino de partida	Ácidos mayoritarios, ácidos fenólicos, flavanoles, flavonoles, PAs (dimeras y trímeras), antocianos y taninos
F13 + F2	Mezcla de la Fracción antocíánica y la Fracción tánica. Igual concentración que el vino de partida	Antocianos +Taninos (> de 3 unidades)

Tabla 1: Descripción de las fracciones obtenidas a partir de un vino recién fermentado

3. Resultados y Discusión

De forma similar a lo descrito por Ferreira et al. [11], durante el proceso de microoxigenación, tanto en el vino como en las muestras pueden calcularse 2 velocidades de consumo de oxígeno (Tabla 2), velocidad inicial (correspondiente al primer día de consumo de oxígeno) y velocidad media (correspondiente al resto de los días que ha durado el experimento). En todos los casos la velocidad de consumo inicial de O_2 fue superior a la velocidad media. Las velocidades inicial y media de consumo de O_2 más altas tuvieron lugar en las muestras "vino", "$F1_a$+F2" y "$F1_a$". Mientras que la velocidad inicial fue significativamente diferente entre ellas, la velocidad media no mostró diferencias significativas en las tres muestras.

	Velocidad de consumo de oxígeno (mg/L/día)				Coordenadas CIELAB		
Muestras	**Inicial**	**R^2**	**Media**	**R^2**	**a***	**b***	**L**
Vino	1,602c	0,987	0,692a	0,993	51,71	10,78	43,48
$F1_a$+F2	2,585a	0,979	0,632a	0,987	53,18	13,32	44,73
$F1_a$	2,026b	0,987	0,632a	0,990	50,00	10,80	50,40
$F1_{sa}$	1,098d	0,961	0,218c	0,965	44,27	4,43	55,03
F2	1,291c	0,959	0,264c	0,926	8,37	2,83	91,33
F13	0,523e	0,941	0,175d	0,955	39,18	0,51	61,50
F13 + F2	1,512c	0,955	0,344b	0,973	46,60	4,43	53,50
F12	0,609e	0,953	0,000e	-	1,06	1,24	98,53

Table 2: Velocidad inicial y media de consumo de oxígeno y coordenadas CIELAB en muestras MOX

En la figura 1 se muestra la evolución del consumo de oxígeno de las muestras durante el proceso de MOX. Como se ha dicho anteriormente, las muestras que presentan las velocidades de consumo de O_2 mas elevadas son "vino", "$F1_a$+F2" y "$F1_a$". Como era de esperar la muestra "$F1_a$+F2" presenta un consumo de O_2 similar al manifestado por el "vino" ya que en un trabajo previo [12] se demostró que una muestra reconstituida a partir de las dos fracciones obtenidas del mismo vino retiene las mismas características sensoriales y químicas que el vino sin fraccionar. Sin embargo, sorprendentemente la fracción "$F1_a$" muestra un consumo similar a la muestra "$F1_a$+F2", lo que podría indicar que el consumo de oxígeno es principalmente utilizado por los compuestos presentes en la muestra "$F1_a$". Sin embargo, si comparamos las muestras "$F1_a$" y "$F1_{sa}$" (misma fracción fenólica con y sin la fracción ácida del vino, respectivamente), las velocidades de consumo de oxígeno son mayores en la muestra "$F1_a$". El resto de las muestras presentan una menor velocidad de consumo de O_2. Todas estas muestras a diferencia de las que han consumido mayor cantidad de O_2 son muestras en las que la fracción ácida del vino ha sido eliminada, no obstante, todas las muestras han sido redisueltas en el mismo vino modelo (misma cantidad de tartárico y pH), por lo que podría apuntarse a otros ácidos distintos del tartárico como, por ejemplo, los ácidos fenólicos los cuales podrían estar implicados en estas mayores velocidades de consumo de O_2.

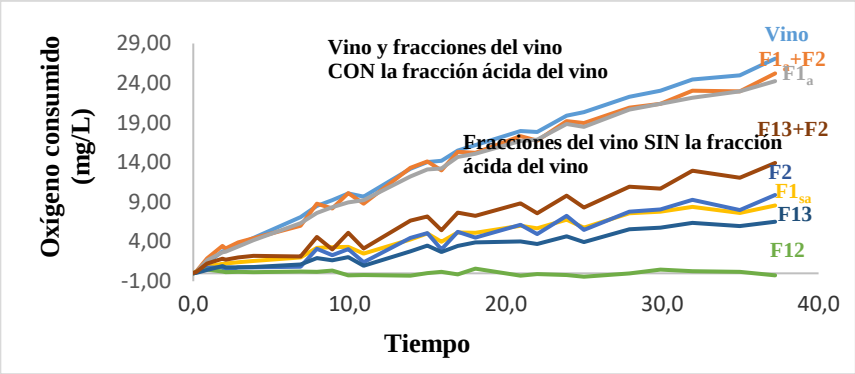


Figura 1: Oxígeno consumido en el vino y sus fracciones durante la microoxigenación

Las muestras que han consumido menor cantidad de O_2 y que no contienen la fracción ácida muestran, entre ellas, diferencias significativas en la velocidad de consumo de O_2. Las muestras "F13+F2" y "F12" presentan la mayor y menor velocidad media de consumo, respectivamente (Tabla 2 y Figura 1). Durante la micooxigenación las muestreas "F13" y "F2" consumen menor cantidad de O_2 que la muestra que contiene ambas fracciones juntas ("F13+F2"), demostrando esto un mayor consumo de oxígeno cuando antocianos y taninos están juntos que cuando ambos grupos de compuestos están separados o bien la concentración de uno de ellos es muy baja con respecto al otro grupo de compuestos. Un comportamiento similar puede ser observado en las muestras "$F1_{sa}$", "F13" y "F12", la primera muestra (muestra suma de F13 y F12) presenta mayor velocidad (tanto inicial como media) de consumo de oxígeno que la muestra antociánica ("F13") y la constituida por fenoles pequeños no antociánicos ("F12").

En relación con el color las muestras con un mayor consumo de oxígeno muestran valores más altos de la coordenada a*, pero sobretodo un mayor valor de la coordenada b* (Tabla 2). Así por ejemplo, entre las muestras "$F1_a$" y "$F1_{sa}$", cuya única diferencia composicional es que la primera contiene todos los ácidos del vino, la "$F1_a$" manifiesta un ligero aumento del valor de la coordenada a* pero un mayor aumento de la coordenada b* (más del doble). Entre las muestras que no contienen la fracción ácida del vino, las muestras "$F1_{sa}$" y "F13+F2" presentan valores muy similares para las coordenadas a* y b*. Ambas muestras contienen la misma fracción antociánica en presencia de polifenoles neutros de bajo peso molecular en la muestra "$F1_{sa}$" y en presencia de PAs mayores de 3 unidades en la muestra "F13+F2". La muestra que solo contiene antocianos presenta unas coordenadas a* y b* inferiores a las dos anteriores siendo, por lo tanto, la muestra que presenta una mayor tonalidad azul-violácea. Como era de esperar la muestra que contienen todos los taninos del vino presenta un mayor valor de la coordenada b* que la muestra que contiene los polifenoles de bajo peso molecular no antociánicos, pero menor que si los taninos están en presencia de antocianos.

La figura 2 muestra la proyección en las dos primeras componentes de las muestras microoxigenadas y mantenidas en anoxia junto con las variables a*, b* y L*. La componente 2 separa las muestras mantenidas en anoxia de las muestras microoxigenadas, de forma prácticamente simétrica. Las muestras mantenidas en anoxia presentan mayores valores de la componente b* y menores valores de la componente a*, mientras que las muestras microoxigenadas muestran menores valores de la componente b* y mayores de la componente a*.

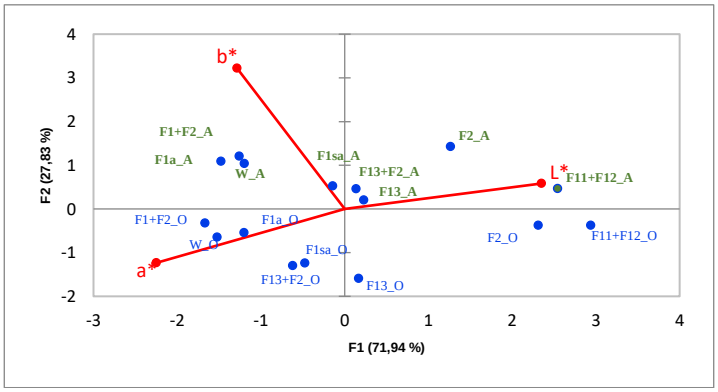


Figura 2: Proyección de muestras mantenidas en anoxia (Verde) y las muestras microoxigenadas (Azul)

3. Conclusiones

La presencia de la fracción ácida del vino induce mayores velocidades de consumo de O_2 en las muestras estudiadas. Las muestras microoxigenadas han manifestado valores más altos de la coordenada a* y menores de la coordenada b* que las mismas muestras mantenidas en anoxia.

Agradecimientos: Al MINECO por los proyectos AGL2014-59840, AGL2017-87373 y RTC-2015-3379. MPSN y SFT agradecen al MINECO por su postdoctoral (Juan de la Cierva Incorporación 2015: IJDC-2015-23444) and predoctoral contrato (FPI-2018, Universidad de La Rioja), respectivamente.

Bibliografía

[1] M. L. Pasteur. Etudes sur le vin, 2nd ed.; Librairie F. Savy: Paris, 1875.
[2] C. Morrot, F. Brochet, D. Dubourdieu, "The color of olors". *Brain and language,* **79**, pp. 309, (2001).
[3] E, Salas, V. Atanasova, C. Poncet-Legrand, E. Meudec, J. P. Mazauric, & V. Cheynier, Demonstration of the occurrence of flavanol–anthocyanin adducts in wine and in model solutions. *Analytical Chimica Acta*, 513, pp. 325-332 (2004).
[4] T. Escribano-Bailón, M. Álvarez-García, J.G. Rivas-Gonzalo, F. J., Heredia, & C. Santos-Buelga, Color and stability of pigments derived from the acetaldehyde-mediated condensation between malvidin 3-O-glucoside and (+)-catechin. *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 49, pp. 1213-1217 (2001).
[5] H. Fulcrand, J.P, Cameira do Santos, P. Sarni-Manchado, V. Cheynier, & J. Favre-Bonvin, Structure of new anthocyanin-derived wine pigments. Journal of the Chemical Society – Perkin Transactions, **1**, pp. 735-739 (1996).
[6] C. Dallas, & O. Laureano, (1994). Effects of pH, sulfur dioxide, alcohol content, temperature and storage time on colour composition of a young Portuguese red table wine. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 65, pp. 477-485 (1994).
[7] J. Wirth, C. Morel-Salmi, J.M. Souquet, J. B. Dieval, O. Aagaard, S. Vidal, H. Fulcrand, The impact of oxygen exposure before and after bottling on the polyphenolic composition of red wines. Food Chemistry, **123**, pp. 107-116 (2010).
[8] M. P. Sáenz-Navajas, J. M., Avizcuri, S. Ferrero-del-Teso, D. Valentin, V. Ferreira, P. Fernández-Zurbano, Chemo-sensory characterization of fractions driving different mouthfeel properties in red wines. Food Research International, 94, pp 54–64 (2017).
[9] C.I.E. Colorimetry (2nd ed. p. 2). Vienna: Central Bureau of the Commission Internationale de L'Eclairage. Publication C.I.E. (2004).
[10] O.I.V. Recueil des methodes internationales d´analyse des vins et des mouts. Vienne. (2005).
[11] V. Ferreira, V. Carrascón, M. Bueno, M. Ugliano, P. Fernández-Zurbano, Oxygen consumption by red wines. Part I: Consumption Rates, Relationship with Chemical Composition, and Role of SO2. *Journal Agriculture and Food Chemistry*, **63**, pp.10928–10933 (2015).
[12] A. Gonzalo-Diago, M. Dizy, P. Fernandez-Zurbano, Taste and mouthfeel properties of red wines Proanthocyanidins and their relation to the chemical composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **61**, pp. 8861–8870 (2013).

Evaluación colorimétrica de la adición de extractos de semillas a vinos tintos

M. Luisa Escudero Gilete[1], Rosa Elvira Taco Sosapanta[1], Francisco J. Heredia Mira,[1]* y M. Lourdes González-Miret Martín[1]

[1]Laboratorio Color y Calidad de Alimentos, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, 41012 Sevilla, Spain

1. Introducción

La industria enológica genera una gran cantidad de subproductos entre los que se encuentra el orujo de uva. Este orujo (formado por semillas, hollejos y rapones) es rico en compuestos fenólicos, por lo que puede utilizarse para mejorar el color de los vinos. En este sentido, el consumidor aprecia especialmente las características cromáticas intensas en los vinos, valorando muy positivamente aquellos vinos oscuros y de tonos rojos con matices azulados.

Este estudio trata del aprovechamiento de subproducto de vinificación, específicamente las semillas, y su uso como fuente de fenoles, en forma de extracto de semilla de uva, para evaluar la evolución del color en vinos tintos

2. Material y métodos

Semilla

Para el estudio se utilizaron semillas muy maduras, procedentes de subproducto (orujo) de vinificación de uva blanca variedad Moscatel (bodega "Finca La Aurora", D.O. Montilla Moriles).

Liofilización y molienda

Las semillas se liofilizaron en un equipo Cryodos-80 Telstar®, acoplado a una bomba Varian DS 102. A continuación se pulverizó en un molino IKA A11-B durante 10 segundos.

Extracción de compuestos fenólicos.

Se pesó 2 g de polvo liofilizado de muestra y se añadieron 5 mL de vino sintético. La mezcla obtenida se agitó durante 24 horas (agitador magnético Vortex IKA Genios 3). Posteriormente, se centrifugó durante 10 minutos (centrifuga Allegra X-12R Centrifuge), a 4000 rpm y 10 °C. Se retiró el sobrenadante. El residuo sólido se sometió al mismo proceso dos veces más, con agitación de 45 minutos. Se reunieron todos los extractos líquidos y se congeló a -20 °C para su posterior análisis.

Vino tinto

Los vinos tintos utilizados fueron cedidos por la bodega Cooperativa Nuestra Señora del Socorro (D.O. Condado de Huelva), procedentes de ensayos en los que se habían aplicado diferentes técnicas de elaboración:

- Tradicional (T): Vinos de elaboración en tinto tradicional, que actúa como testigo de ensayo de vinificación.
- Corto (C): Vinos elaborados mediante maceración con adición de semillas al mosto por un periodo corto de tiempo (un mes).
- Largo (L): Vinos elaborados mediante maceración con adición de semillas al mosto por un periodo largo de tiempo (dos meses)

Tratamiento de fortificación

Se prepararon tres tipos de muestras para poder determinar el efecto global de la adición de extracto de semilla, eliminando el efecto de dilución que se produce al añadir la cantidad de extracto al vino, así como la influencia del color que pueda aportar el extracto.
Las muestras utilizadas en el ensayo fueron:

- Vino tinto sin extracto. Se realizó una dilución 9:1 de cada vino, tomando 9 mL de vino tinto, y añadiendo 1 mL vino sintético.
- Vino tinto fortificado. Se realizó una mezcla 9:1 de vino tinto con extracto de semillas, tomando 1.8 mL de vino tinto con 0.2 mL (200 µL) de extracto de semillas.
- Extracto de semilla. Se realizó una dilución 9:1 de vino sintético con el extracto de semilla (9 mL de vino sintético y 1 mL de extracto de semillas)

Color

Para la evaluación del color en los vinos tintos se utilizó el espacio del color CIELAB, que considera coordenadas de color rectangulares (L*, a*, b*) y cilíndricas (L *, C^*_{ab}, h_{ab}.). Se midió el color de las muestras por espectrofotometría de transmisión en un espectrofotómetro de diodos UV-Vis HP 8453, se registraron todos los espectros visibles entre 380 nm y 780 nm, tomando en cuenta el observador de 10° y el Iluminante de D65, en una cubeta de 2 mm de paso de luz.

A partir de los espectros de absorción registrados, se calcularon las coordenadas colorimétricas L*, a*, b*, C^*_{ab} y h_{ab} de las muestras, las cuales permiten describir el color en cada situación y localizarlo en el espacio de color CIELAB. Los parámetros de color se obtuvieron con el programa de cálculo original CromaLab®[1] el cual tiene en cuenta las recomendaciones de la Comisión Internacional de Iluminación[2]: Observador estándar de 10º e iluminante estándar CIE D65.

3. Resultados

En los primeros estadíos, el color del vino tinto se debe a los antocianos libres, que muestran las características propias de un vino joven, como son un tono rojo vivo con notables matices azulados. Posteriormente, a lo largo de la estabilización, los antocianos monómeros disminuyen, mientras que los pigmentos poliméricos aumentan. Así, en los vinos con crianza, más evolucionados, suelen encontrarse colores menos vivos, con tonos rojos más anaranjados.

Durante la vinificación, en el periodo de maceración fermentativa se suele producir la evolución del color del vino en el sentido de la disminución de la claridad (L*), lo que indica el efecto positivo en la estabilidad del color[3]. Fernández (2016) [4] utilizó semillas de uvas pasas de variedad Pedro Ximénez adicionadas a vinos tintos, y observó una disminución rápida de la claridad durante la fermentación alcohólica, donde el mosto se mostró más oscuro debido a que se extraen, ayudados por el alcohol, los pigmentos de las partes solidas de la uva.

Este efecto o tendencia en la evolución del color también se observó en los vinos estudiados en el presente trabajo, cuando se añade el extracto de semilla a las muestras de vino tinto. En todos los casos (vino tradicional, con maceración corta y larga) se da una importante disminución de la claridad, especialmente en el caso del vino con maceración corta. En la Tabla 1 se observa que existen diferencias significativas ($p<0.05$) entre los tratamientos (sin y con adición de extracto de semilla) en cuanto a la claridad (L*), para los tres tipos de vino estudiados.

	L*	
	Tratamientos	
Tipo de Vinos	Sin extracto (media ± D.E.)	Con extracto (media ± D.E.)
Tradicional	17.80 ± 1.91^a	4.01 ± 0.86^b
Corto	19.05 ± 0.41^a	3.18 ± 3.18^b
Largo	15.60 ± 0.90^a	2.54 ± 0.61^b

Letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas (p<0.05).
D.E.= Desviación estándar.

Tabla 1: Valores de claridad (L*) de los vinos tintos con y sin adición de extracto de semillas.

Las coordenadas de cromaticidad a* y b* presentaron valores positivos, por lo que las muestras se situaron en el primer cuadrante del diagrama de color (a*b*), donde se encuentran los colores rojos netos y anaranjados. En todos los casos, los vinos presentaron diferencias significativas (p<0.05) para los

parámetros a* y b* tras el tratamiento con adición de extracto de semillas respecto a los valores que tenían inicialmente (sin adición) (Tabla 2).

	a*		**b***	
	Tratamientos			
Tipo de Vinos	Sin extracto (media ± D.E.)	Con extracto (media ± D.E.)	Sin extracto (media ± D.E.)	Con extracto (media ± D.E.)
Tradicional	47.58 ± 1.21[a]	24.68 ± 3.94[b]	27.81 ± 1.68[a]	6.86 ± 1.47[b]
Corto	47.78 ± 0.50[a]	17.12 ± 15.63[b]	25.78 ± 0.50[a]	5.26 ± 5.24[b]
Largo	45.76 ± 0.82[a]	16.51 ± 3.86[b]	24.77 ± 1.06[a]	4.34 ± 1.04[b]

Letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas ($p<0.05$).
D.E.= Desviación estándar.

Tabla 2: Valores de las coordenadas cromáticas a* y b* en los vinos tintos con y sin adición de extracto de semillas

La correcta interpretación del color se debe realizar a partir de las variables angulares tono y croma (Tabla 3). En cuanto al croma C^*_{ab} de los vinos estudiados, este parámetro osciló entre 55 y 17 unidades CIELAB, observándose una importante disminución (46% en el vino tradicional y 67% en los vinos con maceración corta y larga) tras la adición de extracto de semillas, que fue significativa de ($p<0.05$) en todos los casos. En relación al tono h_{ab} de los vinos, éste disminuyó significativamente ($p<0.05$) al ser tratados con extractos de semillas. El descenso en los valores del tono fue similar para todos los vinos, estando alrededor del 50%.

	C^*_{ab}		**h_{ab}**	
	Tratamientos			
Tipo de Vinos	Sin extracto (media ± D.E)	Con extracto (media ± D.E)	Sin extracto (media ± D.E)	Con extracto (media ± D.E)
Tradicional	55.12 ± 1.89[a]	25.62 ± 4.19[b]	30.29 ± 0.87[a]	15.44 ± 0.78[b]
Corto	54.29 ± 0.67[a]	17.92 ± 16.47[b]	28.35 ± 0.22[a]	15.93 ± 2.09[b]
Largo	52.03 ± 1.23[a]	17.07 ± 3.99[b]	28.43 ± 0.59[a]	14.72 ± 0.07[b]

Letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas ($p<0.05$).
D.E.= Desviación estándar.

Tabla 3: Valores de croma (C^*_{ab}) y tono (h_{ab}.) de los vinos tintos con y sin adición de extracto de semillas.

Como ya se expuso, un estudio previo[3] encontró que la adición de orujo de uva Pedro Ximénez en la vinificación produjo una disminución en claridad (L*) y tono (h_{ab}) del vino, lo que pudo ser debido a que la extracción de pigmentos en la etapa de fermentación-maceración se encuentra con una mayor concentración de fenoles procedentes de los orujos, volviéndose los pigmentos más estables, dado que la estabilidad del color del vino está relacionada con la composición fenólica de los pigmentos antociánicos y otros fenoles extraídos de la uva durante la maceración.

El menos afectado por este tratamiento, tras la adición de semillas, fue el vino con elaboración tradicional el que presentó mayores valores medios de claridad (L*), croma (C^*_{ab}) y tono (h_{ab}) (4.01 unidades CIELAB, 25.62 unidades de CIELAB y 15.44°, respectivamente), indicando la menor afectación de su color.

Gráficamente se puede realizar la evaluación del efecto de la adición de extracto de semilla sobre el color de los vinos, mediante la representación de los puntos correspondientes a las muestras en el diagrama (a*b*) del espacio de color CIELAB y la claridad como eje perpendicular al plano (Fig. 1). Ante todo, se pone de manifiesto la clara separación que existe entre los puntos correspondientes a cada uno de los grupos, lo que indica una total diferencia de color entre las muestras estudiadas, en función del tratamiento efectuado. Se muestra, también, el punto correspondiente a la medida del color del extracto de semilla, localizado muy cercano al origen de coordenadas en el plano (a*b*), con un ángulo de tono de 70° y un valor de claridad cercano a 100 unidades, lo que se corresponde con un tono amarillento pálido, muy claro y apagado, prácticamente incoloro.

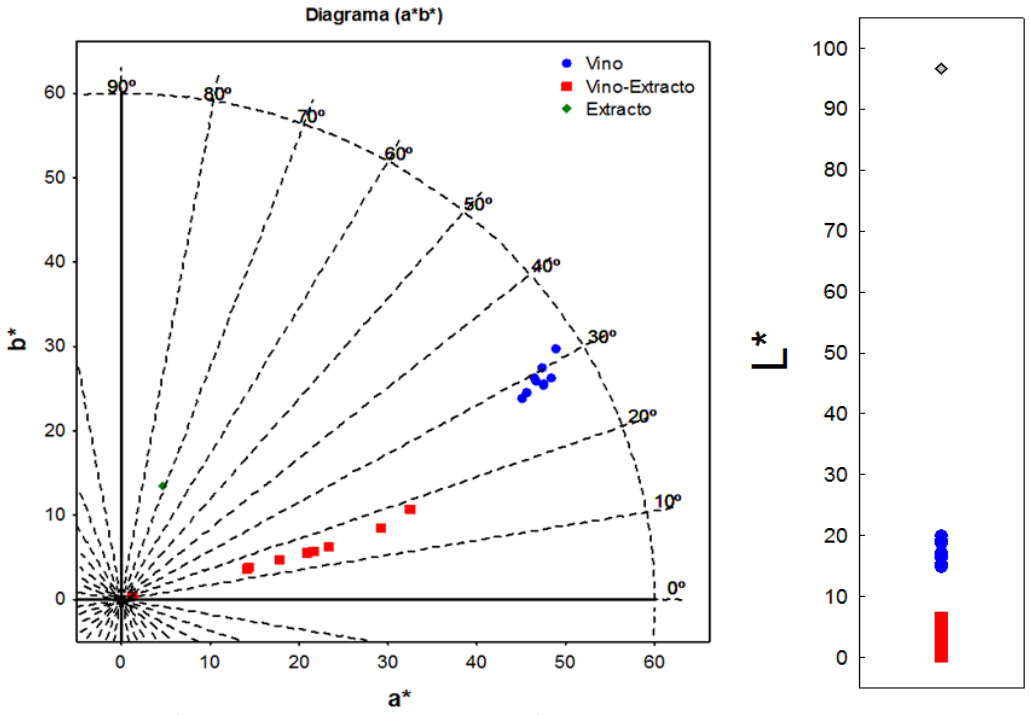


Figura 1: Ubicación de las muestras de vino, con y sin adición de extracto de semilla, en el diagrama de color (a*b*)

En la Fig. 1 se observa una disminución de los valores de tono. Los vinos sin adición de extracto de semillas se encuentran en la zona de 25° a 31°. Al añadirles el extracto de semillas de uva, las muestras se posicionan en ángulos de 10° a 20°, lo que indica un efecto hacia tonos más rojos y menos anaranjados. Se puede apreciar, también, cómo la adición del extracto produce una disminución del croma de las muestras tratadas respecto a los vinos iniciales no tratados. Inicialmente, los vinos sin adición de extracto de semillas se encuentran muy poco dispersos, mostrando una cierta homogeneidad, y tras la adición del extracto de semilla, se distribuyen de manera más dispersa, lo que se debe a que la adición del extracto afecta de forma diferente a los vinos.

En resumen, y a la vista de los resultados mostrados para los parámetros de color CIELAB claridad, croma y tono, se puede afirmar que la adición de extracto de semilla a los vinos estudiados produce un efecto general que conduce a colores más oscuros (menor L*), menos vivos (menor C^*_{ab}) y con un tono menos anaranjado o con tendencia a los tonos más azulados (menor h_{ab}), lo que se traduce en una mejora de la calidad cromática.

4. Bibliografía

[1] F.J. Heredia, C. Álvarez, M.L. González-Miret, A. Ramírez, *CromaLab®, Análisis de Color* (Registro General de la Propiedad Intelectual, 2016).

[2] CIE, *Technical Report Colorimetry* (Commission Internationale de l'Eclairage Central Bureau: Vienna, Austria, 2004).

[3] B. Gordillo, M.J. Cejudo-Bastante, F.J. Rodríguez-Pulido, M.J. Jara-Palacios, P. Ramírez-Pérez, M.L. González-Miret, F.J. Heredia, "Impact of adding white pomace to red grapes on the phenolic composition and color stability of Syrah wines from a warm climate", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, vol. 62(12), pp. 2663-2671 (2014).

[4] A. Fernández, "Estabilización del color de vinos tintos de clima cálido (variedad Syrah) por adición de subproductos vitícolas. Semillas de uvas pasas de variedad Pedro Ximénez", Master en Tecnología e Industria Alimentaria, (Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2016).

Evaluación colorimétrica de un zumo de frutas y verduras fermentado con kéfir

M. Luisa Escudero-Gilete[1]*, Jorge L. Paredes Ceballos,[1] y Isabel M. Vicario Romero[1]

[1]Laboratorio Color y Calidad de Alimentos, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, 41012 Sevilla, Spain

1. Introducción

El kéfir es un medio simbiótico de microorganismos al que pertenecen diversos espectros de bacterias ácido-lácticas, levaduras y bacterias acéticas fermentadoras de sustratos de azúcar, con la capacidad de crecer en un medio no lácteo con sustratos de azúcar. Entre los alimentos ricos en azúcar que pueden ser sustratos fermentativos del kéfir se encuentran los zumos de frutas y verduras. A los alimentos fermentados obtenidos se le atribuyen propiedades beneficiosas para la salud como: reducción de los síntomas de intolerancia a la lactosa, estimulación del sistema inmune, disminución del colesterol, y propiedades anti-mutagénicas y anti-carcinogénicas[1].

El objetivo de este trabajo fue evaluar cómo las diferentes condiciones de elaboración de una bebida no láctea tipo kéfir, afecta al color de la bebida, y finalmente, a la aceptación por el consumidor.

2. Método

Las muestras utilizadas fueron zumo comercial de un único lote (Lot 120738) compuesto de manzana (70%), zanahoria (12%), remolacha (9%), y fresa (9%) inoculado con gránulos de kéfir al 1%, 2%, 3% y 4% (p/v), a tiempos de fermentación de 12, 24 y 48 horas, y 26 °C en estufa. Como muestra de referencia se usó el zumo comercial sin fermentar.

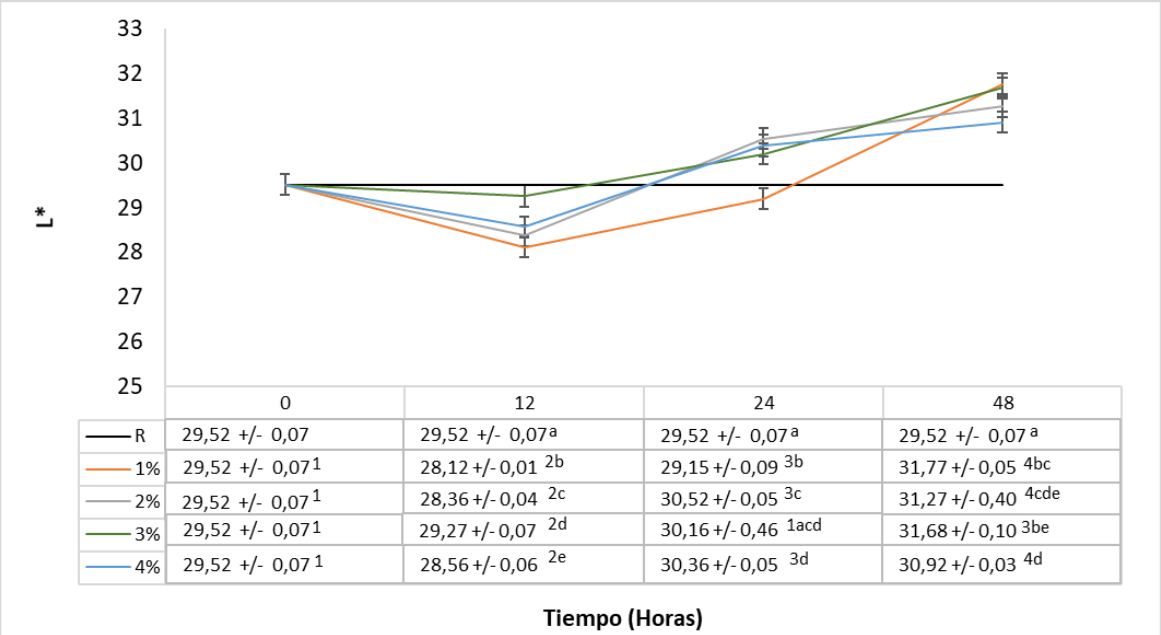
Para la evaluación del color de las muestras se utilizó el espacio del color CIELAB, que considera coordenadas de color rectangulares (L*, a*, b*) y cilíndricas (L *, C^*_{ab}, h_{ab}.). Se midió el color en un espectrofotómetro CM-5 KONICA MINOLTA OPTICS INC.

En este estudio se analiza el efecto del tiempo de fermentación (12, 24 y 48 horas) y la concentración de gránulos de kéfir (1 y 2, 3 y 4%) inoculados en el zumo comercial sobre los parámetros de color (claridad (L*), tono (h_{ab}) y croma (C^*_{ab})).

3. Resultados

En la Fig. 1 se observa la claridad (L*) de las muestras con diferente concentración de inóculos de Kéfir y fermentados durante 12, 24 y 48 horas. L* tiende a aumentar, de forma significativa ($p<0.05$), a partir de 12 horas de tiempo de fermentación. En cuanto a la concentración de inóculo de kéfir, la bebida de kéfir al 1%, 2%, 3% y 4% de inoculación reduce su Claridad (L*) entre 0,84% y 4,7% por debajo de la muestra referencia (R) en las primeras 12 horas de fermentación. Sin embargo, después de 48 horas de fermentación, todas las muestras (del 1% al 4% de kéfir) incrementan su Claridad (L*) entre 4,7% y 7,6% por encima de la muestra referencia (R), es decir se hacen ligeramente más claras.

Los resultados estadísticos muestran que la concentración de kéfir (R, 1%, 2%, 3% ,4%) tiene un efecto significativo ($p<0,05$) en la variación del parámetro L* únicamente para un tiempo de fermentación de 12 horas. Siendo la claridad (L*) de las muestras con diferentes concentraciones de kéfir significativamente menor que la claridad de la muestra de referencia.



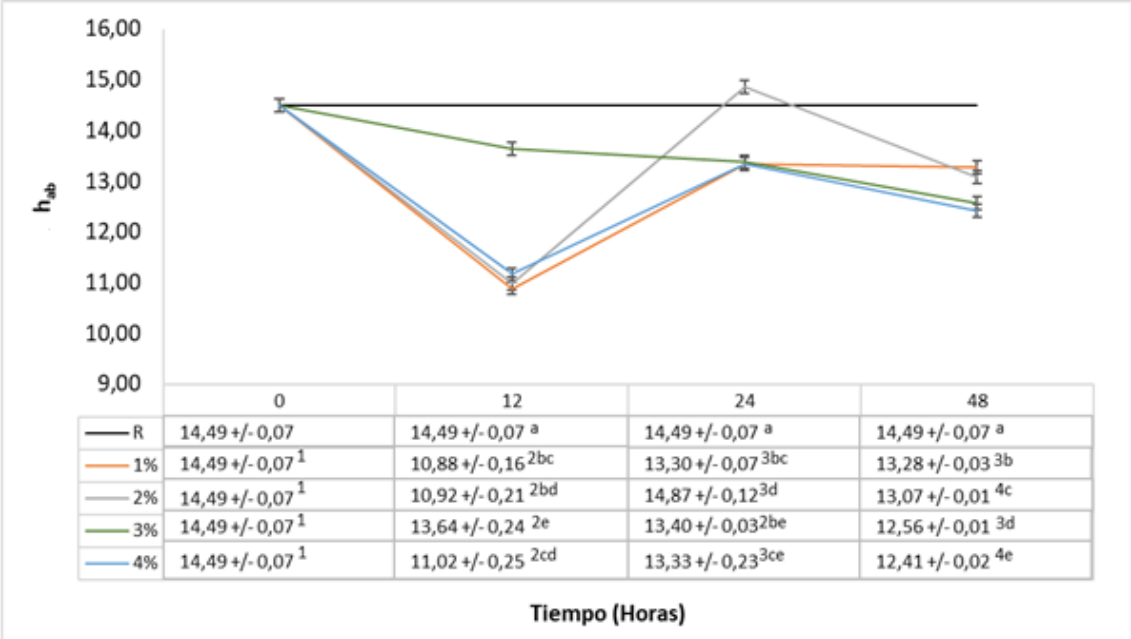
	0	12	24	48
R	29,52 +/- 0,07	29,52 +/- 0,07 a	29,52 +/- 0,07 a	29,52 +/- 0,07 a
1%	29,52 +/- 0,07 1	28,12 +/- 0,01 2b	29,15 +/- 0,09 3b	31,77 +/- 0,05 4bc
2%	29,52 +/- 0,07 1	28,36 +/- 0,04 2c	30,52 +/- 0,05 3c	31,27 +/- 0,40 4cde
3%	29,52 +/- 0,07 1	29,27 +/- 0,07 2d	30,16 +/- 0,46 1acd	31,68 +/- 0,10 3be
4%	29,52 +/- 0,07 1	28,56 +/- 0,06 2e	30,36 +/- 0,05 3d	30,92 +/- 0,03 4d

Las letras diferentes dentro de cada columna y los números diferentes dentro de cada fila indican diferencias significativas en el análisis ANOVA (p<0,05).

Figura 1: Claridad (L*) del producto, en zumo comercial a diferente concentración de inóculos de kéfir (1%, 2%, 3% y 4 %) en 12, 24 y 48 horas de fermentación.

El h_{ab} del zumo presenta oscilaciones a lo largo del tiempo de fermentación, siendo significativas ($p<0.05$) las diferencias entre 0, 12, 24 y 48 horas de fermentación (Fig. 2). La máxima reducción del h_{ab} ocurre en las primeras 12 horas de fermentación, con un descenso de 24,9% respecto a la muestra de referencia. A partir de las 24 horas de fermentación, el h_{ab} de las muestras tiende a estabilizarse.

Se observan diferencias significativas ($p<0.05$) en el parámetro h_{ab} a las 48 horas de fermentación para las diferentes concentraciones de inóculos de kéfir (Fig. 2). Siendo el tono de las muestras con diferentes concentraciones de kéfir significativamente menor que el tono de la muestra de referencia.



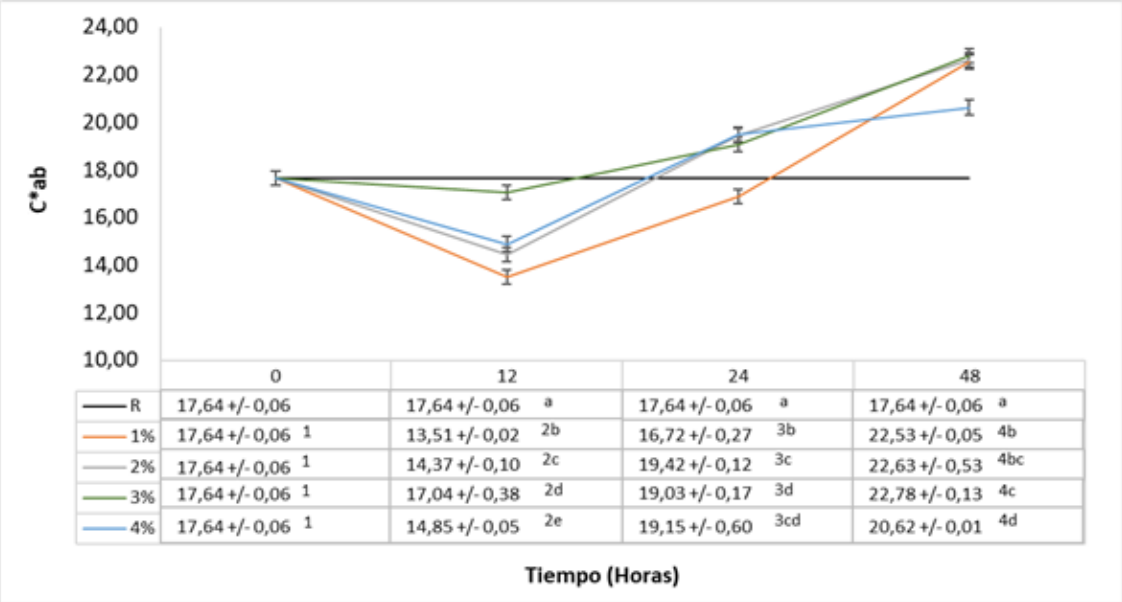
	0	12	24	48
R	14,49 +/- 0,07	14,49 +/- 0,07 a	14,49 +/- 0,07 a	14,49 +/- 0,07 a
1%	14,49 +/- 0,07 1	10,88 +/- 0,16 2bc	13,30 +/- 0,07 3bc	13,28 +/- 0,03 3b
2%	14,49 +/- 0,07 1	10,92 +/- 0,21 2bd	14,87 +/- 0,12 3d	13,07 +/- 0,01 4c
3%	14,49 +/- 0,07 1	13,64 +/- 0,24 2e	13,40 +/- 0,03 2be	12,56 +/- 0,01 3d
4%	14,49 +/- 0,07 1	11,02 +/- 0,25 2cd	13,33 +/- 0,23 3ce	12,41 +/- 0,02 4e

Las letras diferentes dentro de cada columna y los números diferentes dentro de cada fila indican diferencias significativas en el análisis ANOVA (p<0,05).

Figura 2: Tono (h_{ab}) en zumo comercial con diferente concentración de inóculos de kéfir (1%, 2%, 3% y 4 %) durante 12, 24 y 48 horas de fermentación.

En la Fig. 3 se observa que el C^*_{ab} aumenta significativamente ($p<0.05$) a partir de las 12 horas de fermentación de las muestras. Concretamente, durante las primeras 12 horas de fermentación, la muestra presenta una reducción significativa del C^*_{ab} entre 3,52% y 23,4% por debajo de la muestra referencia (R), mientras que después de 48 horas de fermentación, las muestras presentan un aumento significativo del C^*_{ab} entre 16,8% y 29,13% por encima de la muestra referencia (R).

En cuanto a las concentraciones de kéfir (1%, 2%, 3% ,4%), éstas tienen un efecto significativo ($p<0,05$) en la variación del parámetro C^*_{ab} solo en las muestras a 12 horas de fermentación. Siendo el croma de las muestras con diferentes concentraciones de kéfir significativamente menor que el tono de la muestra de referencia.



	0	12	24	48
R	17,64 +/- 0,06	17,64 +/- 0,06 a	17,64 +/- 0,06 a	17,64 +/- 0,06 a
1%	17,64 +/- 0,06 1	13,51 +/- 0,02 2b	16,72 +/- 0,27 3b	22,53 +/- 0,05 4b
2%	17,64 +/- 0,06 1	14,37 +/- 0,10 2c	19,42 +/- 0,12 3c	22,63 +/- 0,53 4bc
3%	17,64 +/- 0,06 1	17,04 +/- 0,38 2d	19,03 +/- 0,17 3d	22,78 +/- 0,13 4c
4%	17,64 +/- 0,06 1	14,85 +/- 0,05 2e	19,15 +/- 0,60 3cd	20,62 +/- 0,01 4d

Las letras diferentes dentro de cada columna y los números diferentes dentro de cada fila indican diferencias significativas en el análisis ANOVA ($p<0,05$).

Figura 3. Croma (C^*_{ab}) en zumo comercial con diferente concentración de inóculos de kéfir (1%, 2%, 3% y 4 %) y durante 12, 24 y 48 horas de fermentación.

Según lo expuesto, el factor que más influye en el color (L^*, h_{ab} y C^*_{ab}) de las muestras es el tiempo de fermentación, obteniéndose zumos con tonos rojos más azulados, ligeramente más claros y con mayor colorido cuando aumenta el tiempo de fermentación. Un estudio realizado por Corona et al. (2016)[2] muestra diferencias significativas en los parámetros colorimétricos entre zumos sin fermentar y zumos fermentados. Todas las muestras cambiaron de color después del proceso de fermentación a excepción de los zumos de fresa. En concreto, los zumos de hinojo y melón registraron los cambios de color más notables. Por otro lado, Randazzo et al. (2016)[3] mostraron que la Claridad (L^*) generalmente aumenta después de la fermentación, y atribuyen este incremento a los procesos de pardeamiento que se producen durante la fermentación. Este fenómeno se debe a la activación de ciertas oxidasas, como el polifenol oxidasa, cuando los ambientes no son completamente anaeróbicos[2].

Tras realizar una prueba de preferencia, el análisis de los resultados muestra que los catadores tienen mayor preferencia por las muestras que han sido fermentadas durante 24 horas, en concentraciones al 1%, 2% ó 3%. Sobre estas muestras se realizó una prueba afectiva de ordenación, considerando tres atributos; aroma, textura y color. Los resultados se analizaron estadísticamente con la Prueba de Friedman ($p<0,05$). En la evaluación del color se muestran diferencias significativas ($p<0,05$) entre muestras al 1% y al 3% de kéfir, y entre la muestra referencia y la muestra al 3% de kéfir.

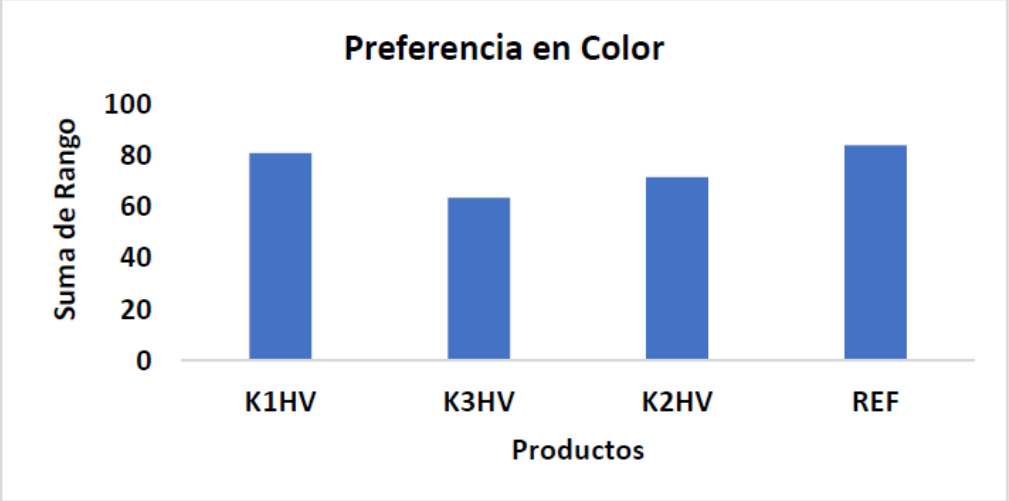


Figura 4: Prueba de preferencia de color de muestras de zumo con kéfir al 1% (K1HV), 2% (K2HV) y 3% (K3HV), durante 24 horas de fermentación, y de la muestra referencia sin (REF) fermentación.

4. Bibliografía

[1] Z. B. Guzel-Seydim, A. K. G. Tugba Kok-Tas, A. C. Seydim, "Review: Functional Properties of Kefir", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 51:3, pp. 261-268 (2011).

[2] O. Corona, W. Randazzo, A. Miceli, R. Guarcello, N. Francesca, H. Erten, G. Moschetti, L. Settanni, "Characterization of kefir-like beverages produced from vegetable juices", *LWT - Food Science and Technology*, vol. 66, pp. 572-581 (2016).

[3] W. Randazzo, O. Corona, R. Guarcello, N. Francesca, M. A. Germaná, H. Erten, G. Moschetti, L. Settanni, "Development of new non-dairy beverages from Mediterranean fruit juices fermented with water kefir microorganisms", *Food Microbiology*, vol. 54, pp. 40-51 (2016).

Efecto del secado solar y granulometría sobre la caracterización colorimétrica del polen apícola de bosques alto-andinos de Colombia

Andrés Duran Jiménez[1*], Carlos Mario Zuluaga Dominguez[2], Marta C. Quicazán[3]

[1]*Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.*

[2]*Departamento de Agronomía y Desarrollo Rural. Facultad de Ciencia Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.*

[3]*Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.*

1. Resumen

El polen apícola es un producto de la colmena con contenidos importantes de nutrientes y compuestos con características funcionales que lo convierten en un alimento de enorme potencial en el mercado actual. Dentro del procesamiento de este producto son indispensables las etapas de secado y limpieza para asegurar su calidad e inocuidad y una mayor vida útil. Se realizó la separación granulométrica con una serie de tamices estándar Tyler (7, 10, 12, 16, 18, 30) del polen apícola fresco y sometido a un proceso de secado mediante un sistema solar directo tipo invernadero y posteriormente la medición del color en el espacio CIELab y el contenido de carotenoides totales medidos como µg β-caroteno/g producto, para determinar el efecto del procesamiento y del tamaño de grano sobre estas características del polen apícola. Mediante la realización de un análisis de varianza estadístico no se encontraron diferencias significativas en las variables de color entre las muestras de polen fresco y seco mediante sistema solar, con excepción de la variable "a"; por otro lado, hay diferencias significativas en el contenido de carotenoides entre el polen fresco y seco, y debido a la diferencia de tamaño entre el polen retenido en cada tamiz. Las fracciones de menor tamaño del polen apícola tienen una mayor concentración de polen de tonalidades rojas y naranjas, así como valores más bajos de claridad y mayores contenidos de carotenoides, así como el polen fresco antes de ser sometido al proceso de secado solar.

2. Introducción

El polen apícola es un producto de la colmena constituido por la aglomeración de granos de polen floral, que las abejas recolectan y adicionan con néctar y secreciones salivares [1][2]. Las abejas transportan estos granos en forma de "pellet" en sus patas traseras hasta la colmena en donde se recolectan a través de trampas, consistentes en rejillas de diámetro de apertura estrecho, liberando los "pellets" que caen hacia mallas de acopio en la parte inferior de la colmena en donde se acumulan hasta su cosecha [3]. El polen ha sido tradicionalmente empleado como alimento para seres humanos, ya que es considerado una buena fuente de nutrientes, como aminoácidos esenciales, minerales (K, Mg, Ca, Cu, Fe, Zn), azucares reductores y posee cantidades considerables de vitaminas: pro-vitamina A, tocoferol, niacina, tiamina y ácido fólico [4]. Así mismo diferentes estudios mencionan al polen como un producto potencialmente beneficioso para la salud, en particular debido a la presencia de compuestos con propiedades antioxidantes, como compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides [5][6]–[8].

Sin embargo, debido a las prácticas de cosecha y beneficio el polen apícola es susceptible a degradación química y microbiológica. El proceso de cosecha expone a este alimento condiciones ambientales y agentes contaminantes que afectan su calidad [9]–[11]. Los procesos de secado y limpieza son indispensables en el procesamiento del polen para el consumo. El primero busca la disminución de la actividad de agua, evitando reacciones de degradación y crecimiento microbiano. Por otra parte la limpieza tiene como objetivo la eliminación de los contaminantes ya mencionados [12], [13].

* *e-mail*: aduranji@unal.edu.co

Durante el proceso de secado solar de matrices vegetales la aplicación de alta temperatura y la incidencia de radiación UV sobre el producto puede ocasionar la degradación de algunos compuestos y la aparición de otros que generan un cambio en el color del alimento, como en las reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático [14].

En este trabajo se buscó realizar una caracterización colorimétrica del polen apícola proveniente de la zona del altiplano Cundiboyacense, sometido a un proceso de secado solar y de separación mediante granulometría con el fin de establecer la influencia del proceso y el tamaño de grano en el color del producto.

3. Metodología

El polen apícola utilizado fue recolectado directamente de un apiario ubicado en el municipio de Viracachá, localizado en la zona suroccidental del departamento de Boyacá, dentro de la región del altiplano Cundiboyacense de Colombia. El polen fue sometido a un proceso de limpieza, previo a las pruebas, mediante tamizado.

El polen apícola fresco se dispuso en bandejas tipo criba de marco y malla de acero inoxidable con tamaño de abertura aproximado de 0.5 mm de 60cm de ancho por 90cm de largo. El polen se distribuyó en las bandejas hasta lograr una capa delgada de espesor uniforme de 1 cm. Posteriormente, las bandejas con el polen se colocaron en el interior del sistema de secado dispuestos para tal fin.

Secador solar tipo invernadero: Se llevó a cabo un proceso de deshidratación mediante un sistema de secado solar tipo invernadero, constituido por una cámara o cuarto con dimensiones internas de 2.5 m x 4.0 m x 2.2 m, el cual posee un techo de vidrio y soportes metálicos tipo riel para las bandejas utilizadas como se ve en la Fig. 1.

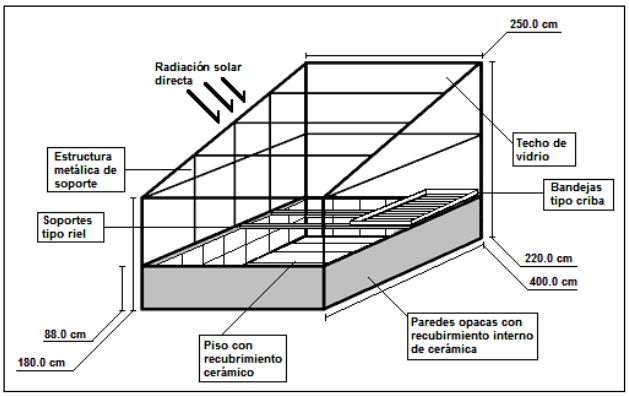


Figura 1. Esquema del secador solar utilizado en las pruebas de deshidratación de polen apícola.

El proceso de deshidratación en este sistema se realizó también durante un tiempo de 8 horas. Las horas de operación en este sistema estaban comprendidas desde las 8:00 hasta las 16:00 horas, con lo que se buscaba aprovechar al máximo las horas de luz disponibles para la región. Durante los procesos de deshidratación llevados a cabo, se tomaron muestras de polen de cada sistema evaluado, durante cada hora a partir de la hora cero hasta la hora final. Las muestras tomadas fueron almacenadas en frascos de vidrio cerrados herméticamente, para su posterior análisis en los laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia.

Granulometría: La caracterización granulométrica fue realizada mediante el uso de una serie de tamices Tyler de mallas estándar enumeradas; los números de los tamices empleados fueron: 7, 10, 12, 16, 18, 30. El arreglo de tamices fue sometido a agitación mecánica mediante una zaranda Tyler.

Análisis de color: Se implementó un análisis colorimétrico de las fracciones mayoritarias de las muestras de polen retenidas en las mallas 10, 12 y 16. Dicho análisis se realizó utilizando un colorímetro Minolta Modelo C300 reportándose los datos en el espacio de color CIELab.

Contenido de carotenoides: Se midió el contenido de carotenoides en el polen de las muestras inicial y final del proceso de secado. La medida fue realizada sobre los extractos de las muestras, mediante método espectrofotométrico a una absorbancia de 450nm. Los extractos fueron obtenidos mediante la dilución de 50mg de muestra en 2mL de acetona para su posterior centrifugación y filtración; estas extracciones se realizaron sucesivamente hasta perdida de coloración de la solución. Finalmente, la solución filtrada se afora hasta un volumen de 25mL. Los extractos así preparados se dispusieron en celdas de cuarzo para la medida en el equipo. Se utilizó para la realización de la medida un espectrofotómetro UV-Vis (ThermoScientific, Genesys 10S). Los resultados obtenidos de absorbancia para cada muestra fueron expresados como µg-β-Caroteno/g de materia seca, mediante la curva de calibración (concentración vs. absorbancia) con β-Caroteno como patrón [15].

4. Resultados

Se muestra en la Fig. 2 el contenido de carotenoides de las muestras polen fresco y sometido a secado en el sistema de secado solar.

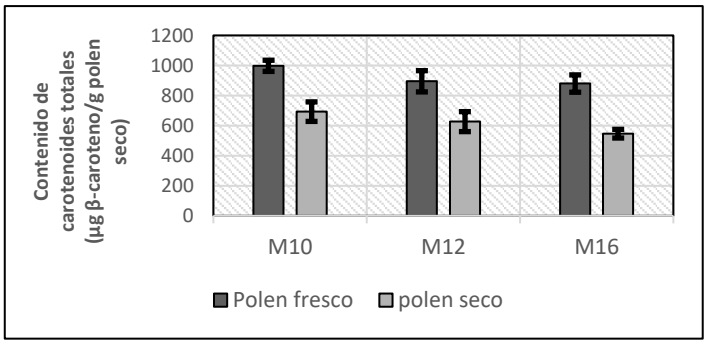
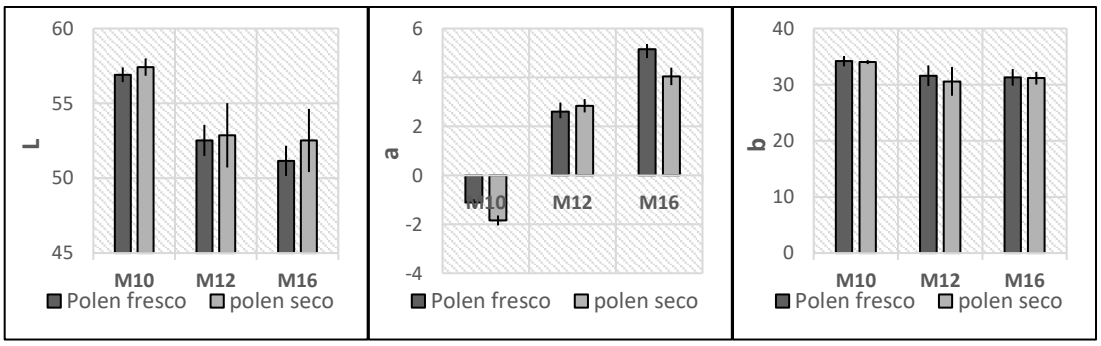


Figura 2. Contenido de carotenoides de las muestras de polen fresco (sin proceso de secado) y luego de 8 horas de secado en el sistema solar para cada uno de los tamices estándar.

Pueden apreciarse diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) en el contenido de carotenoides del polen sometido al proceso de secado (8 horas) en el sistema solar, con respecto al polen fresco (0 horas), teniendo un mayor contenido este último. Se encuentran diferencias significativas en el contenido de carotenoides debidas al tamaño de grano. Se puede observar que las fracciones de menor tamaño (mallas Tyler 10 y 12) tienen un mayor contenido de carotenoides que las fracciones más gruesas (malla Tyler 16).

En cuanto al color del polen apícola, en la Fig. 3 se observan los valores medidos para los parámetros L, a y b de esta característica para el producto fresco y seco para cada una de las fracciones retenidas en las mallas de los tamices 10, 12 y 16 de la serie Tyler utilizada.



(a) (b) (c)

Figura 3. Parámetros de color Lab de las muestras de polen fresco (sin proceso de secado) y luego de 8 horas de secado en el sistema solar para cada uno de los tamices estándar. (a) parámetro L; (b) parámetro a; (c) parámetro b.

Se observó que no existen diferencias en el color del polen entre el producto fresco y seco mediante el sistema solar, aunque si hay diferencias significativas entre el polen retenido en cada una de las mallas de los tamices estándar usados.

4. Conclusiones

El proceso de secado solar tiene un efecto en el contenido de carotenoides del polen apícola, viéndose una disminución en el producto seco con respecto al fresco. La radiación UV incidente en el producto puede ser la causa de este comportamiento. Existen diferencias en el contenido de carotenoides del polen de cada fracción retenida en los tamices 10, 12 y 16, lo que podría indicar una diferencia de origen botánico en el polen de acuerdo a su tamaño, causando diferencias en el contenido de estos metabolitos. Esto último puede comprobarse en los parámetros de color observadas entre el polen retenido en cada tamiz; las fracciones de menor tamaño tienden a tonos más naranjas y rojizos y tienen un mayor contenido de carotenoides: Este resultado indica que podría buscarse una correlación entre estas propiedades para el producto.

Agradecimientos: Al apiario Lo Cerezos y su gerente Baudilio Suarez Neva.

Bibliografía

[1] L. B. Almeida-Muradian, L. C. Pamplona, S. Coimbra, and O. M. Barth, "Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 18, pp. 105–111, 2005.

[2] M. G. R. Campos, S. Bogdanov, L. B. Almeida-Muradian, T. Szczesna, Y. Mancebo, C. Frigerio, and F. Ferreira, "Pollen composition and standardisation of analytical methods," *J. Apic. Res. Bee World*, vol. 47, no. 2, pp. 156–163, 2008.

[3] A. C. Ochoa, "El polen: recogida, manejo y aplicaciones," *Publicaciones de Extensión Agraria*. Neografis, S. L., Madrid, p. 16, 1980.

[4] M. G. R. Campos, C. Frigerio, J. Lopes, and S. Bogdanov, "What is the future of bee-pollen?," *J. ApiProduct ApiMedical Sci.*, vol. 2, no. 4, pp. 131–144, 2010.

[5] M. Morais, L. Moreira, X. Feás, and L. M. Estevinho, "Honeybee-collected pollen from five Portuguese Natural Parks: Palynological origin, phenolic content, antioxidant properties and antimicrobial activity," *Food Chem. Toxicol.*, vol. 49, pp. 1096–1101, 2011.

[6] A. Ellis, J. Ellis, M. O'Malley, and C. Z. Nalen, "The Benefits of Pollen to Honey Bees," University of Florida IFAS Extension, Gainesville, FL (USA), 2010.

[7] R. Margaoan, L. A. Marghitas, D. Dezmirean, C. M. Mihai, and O. Bobis, "Bee collected pollen - General aspects and chemical composition," *Bull. UASVM Anim. Sci. Biotechnol.*, vol. 67, pp. 1–2, 2010.

[8] M. Leja, A. Mareczek, G. Wyzgolik, J. Klepacz-Baniak, and K. Czekonska, "Antioxidative properties of bee pollen in selected plant species," *Food Chem.*, vol. 100, pp. 237–240, 2007.

[9] M. A. Morgano, M. C. Teixeira-Martins, L. C. Rabonato, R. F. Milani, K. Yotsuyanagi, and D. B. Rodríguez-Amaya, "Inorganic contaminants in bee pollen from southeastern Brazil," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 58, pp. 6876–6883, 2010.

[10] G. González, M. J. Hinojo, R. Mateo, A. Medina, and M. Jiménez, "Occurrence of mycotoxin producing fungi in bee pollen," *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 105, pp. 1–9, 2005.

[11] D. I. Hernández and J. Figueroa, "Calidad microbiológica del polen apícola seco recolectado en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca," *Trabajo no publicado*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Bogotá, Colombia, 2012.

[12] Y. Puig-Peña, C. A. del-Risco-Ríos, V. P. Álvarez-Rivera, V. Leiva-Castillo, and R. García-Neninger, "Comparación de la calidad microbiológica del polen apícola fresco y después de un proceso de secado," *Rev. CENIC Ciencias Biológicas*, vol. 43, no. 1, pp. 23–27, 2012.

[13] A. Durán-Jiménez and M. C. Quicazán, "Aplicación de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en la evaluación de la estabilidad del polen apícola deshidratado," *Rev. Fac. Nac. Agron.*, vol. 67, no. Sup. 2, pp. 175–177, 2014.

[14] C. L. Hii, R. A. Rahman, S. C. Jinap, and M. Y.B., "Quality of Cocoa Beans Dried Using a Direct Solar Dryer at Different Loadings," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 86, pp. 1237–1243, 2006.

[15] F. Schulte, J. Mäder, L. W. Kroh, U. Panne, and J. Kneipp, "Characterization of pollen carotenoids with in situ and high performance thin layer chromatography supported resonant Raman spectroscopy," *Anal. Chem.*, vol. 81, no. 20, pp. 8426–8433, 2009.

Evaluación Colorimétrica Diferencial de la copigmentación entre flavanoles de semilla de uva sobremaduras y antocianos del vino

Belén Gordillo Arrobas, Francisco José Rivero Granados, Francisco José Heredia Mira y M. Lourdes González-Miret Martín*

Laboratorio Color y Calidad de Alimentos, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, 41012 Sevilla, Spain

http://www.color.us.es

1. Introducción

En el vino tinto, las reacciones de copigmentación consisten en asociaciones no covalentes entre los antocianos de la uva entre sí, o con una gran variedad de componentes del vino denominados copigmentos. Los efectos positivos de la copigmentación sobre el color son el incremento de la absortividad de los antocianos y la estabilización de éstos en su forma coloreada catión flavilio. Entre los compuestos del vino, los fenoles parecen ser los de mayor capacidad para actuar como copigmentos, debido a que su estructura planar facilita el acoplamiento con la molécula del antociano.

En regiones de clima cálido como el sur de España, determinadas variedades de uvas blancas son sometidas tradicionalmente a procesos de sobremaduración postcosecha mediante el deshidratado natural de las bayas por exposición directa al sol, para la elaboración de vinos dulces de alta graduación alcohólica. Las condiciones de sobremaduración producen la pasificación de la uva, la concentración de azúcares en la pulpa, y la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos y su polimerización en órganos como las semillas. Debido a su riqueza fenólica, las semillas sobremaduras constituyen un subproducto agrícola escasamente explotado con interesantes aplicaciones enológicas como su uso para modular el color de los antocianos del vino y su estabilidad mediante reacciones de copigmentación [1]. El potencial copigmentante de las semillas sobremaduras, relacionado con su composición fenólica, está condicionado por la intensidad y duración del proceso de sobremaduración, el cual puede afectar de forma distinta al metabolismo de cada variedad influyendo en su composición.

El efecto de la copigmentación sobre el color habitualmente se evalúa a través de las modificaciones que se producen en la λ_{max} cuando están en presencia de copigmentos. La evaluación por Colorimetría Diferencial difiere del método espectrofotométrico en que considera los cambios espectrales en el intervalo completo de las longitudes de onda visibles y por tanto describe objetivamente las variaciones de color mediante el parámetro ΔE^*_{ab}, que es interpretable visualmente [2]. A su vez, la aplicación de fórmulas de diferencias de cada atributo del color permite la evaluación de la variación de color a nivel cuantitativo (ΔL^*, ΔC^*_{ab}) y cualitativo (Δh_{ab}).

El objetivo de este estudio es comparar mediante Colorimetría Diferencial el efecto copigmentante y estabilizador de extractos fenólicos ricos en flavanoles de semillas de uva sobremadura de las variedades Pedro Ximénez y Moscatel sobre el color de los pigmentos antociánicos del vino en disoluciones modelo.

2. Material y Métodos

Disoluciones de copigmentación. Las disoluciones de copigmentación se prepararon en vino sintético (5 g/L ácido tartárico, 12% etanol, pH 3.6). La disolución de antocianos (ANT) se preparó disolviendo en vino sintético un extracto comercial de hollejo de uva tinta (IFC Solutions, NJ, USA). Los extractos fenólicos de semillas sobremaduras de Pedro Ximénez (PX) y Moscatel (MO) se prepararon macerando (12 h agitación, 18-20 ºC) 1 g de semillas liofilizadas de cada variedad en 10 mL de vino sintético y posterior centrifugación y filtración.

* *e-mail*: miret@us.es

Las disoluciones de copigmentación (pigmentos/copigmentos) se prepararon añadiendo alícuotas de los extractos fenólicos PX y MO a la disolución ANT a tres niveles de concentración de fenoles totales (100, 200 y 400 mg /L), siendo la concentración final antociánica de 50 mg/L. Todas las disoluciones (ANT, PX-100, PX-200, PX-400, MO-100, MO-200, MO-400) se prepararon por triplicado (n = 21, v = 5 mL), se almacenaron cerradas en oscuridad. Se tomaron muestras para el análisis químico y colorimétrico a 1, 6, 13, 20, 34, 56 y 90 días de almacenamiento.

Composición fenólica. La composición fenólica de las semillas sobremaduras y las disoluciones de copigmentación se determinó por cromatografía liquida de alta eficacia acoplada a identificación por espectrometría de masas (HPLC-MS).

Medida de la copigmentación y estabilidad de color. Los espectros de absorción de las disoluciones se registraron con un espectrofotómetro UV-visible Agilent 8453 ($\Delta\lambda$=2 nm, cubeta de 10 mm y agua destilada como referencia). Siguiendo las recomendaciones de la CIE (2004), se calcularon los parámetros de color CIELAB (L*, a*, b*, C^*_{ab}, h_{ab}) de las disoluciones usando el software original CromaLab® [2].

3. Resultados

Evaluación colorimétrica diferencial del efecto de la copigmentación en el color

Mediante la aplicación de la Colorimetría Diferencial y según la metodología descrita por Gordillo et al. [2], se proponen distintas variables basadas en diferencias de color (ΔE^*_{ab}, ΔL^*, ΔC^*_{ab}, Δh_{ab}) para la evaluación integral del efecto cuantitativo y cualitativo de la copigmentación en el color. La diferencia de color (ΔE^*_{ab}) calculada entre el color de una disolución dada (L*, a*, b*) con respecto a una referencia acromática (L*=100, a*=0, b*=0) permite cuantificar mediante un valor numérico absoluto la cantidad de color que presenta, denominado *Color Total* (*E*) (Ec.1).

$$\text{Color Total: } E = ((L^*-100)^2 + (a^*-0)^2 + (b^*-0)^2)^{1/2} \quad (1)$$

Así, se ha calculado el Color Total de la disolución de antocianos control (E_A) y el mismo de las disoluciones copigmentadas con extractos fenólicos de semillas sobremaduras (*Ec*). La comparación de la variación producida en los valores Ec y E_A, entre pares de muestras y expresada como porcentaje, permite cuantificar la magnitud en que ocurre el fenómeno de copigmentación desde un punto de vista colorimétrico (Ec. 2). Esta variable representa una expresión análoga a la magnitud de copigmentación calculada por comparación de la variación en la λ_{max} (A_{520} nm), pero permite una cuantificación más exacta del efecto hipercrómico al considerar las modificaciones del espectro visible completo.

$$\text{Magnitud de copigmentación colorimétrica: } ((E_C-E_A)/E_A) \times 100 \quad (2)$$

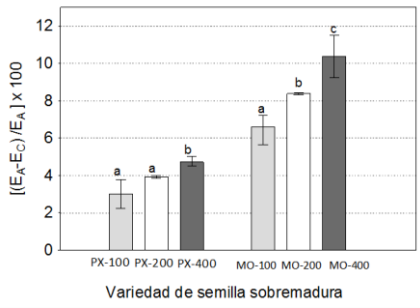


Figura 1. Magnitud de copigmentación colorimétrica (E_A-E_C)/ E_A) de semillas de uva sobremaduras en el color de antocianos. PX: Pedro Ximénez; MO: Moscatel; 100, 200, 400 mg/L fenoles totales.

Para la misma concentración aplicada, los extractos fenólicos de las semillas MO produjeron mayores incrementos de color total de los antocianos (6 - 14%), siendo el efecto significativamente dependiente de la concentración (Fig. 1). Comparativamente, los de PX actuaron como copigmentos más débiles

produciendo incrementos menores (3-5%). Estas diferencias pueden ser debidas a la distinta composición cualitativa fenólica entre los extractos, presentando las semillas sobremaduras de MO mayores proporciones de ácido gálico, catequina y procianidina B1, mientras que las de PX fueron más ricas en epicatequina, y procidanidinas B2, B2-Galato y B7. En ambos casos, los incrementos hipercrómicos observados reflejan el desplazamiento de las formas coloreadas flavilio en el equilibrio antociánico e indican colores más intensos.

Con el objetivo de comparar la variación de color absoluta inducida por la copigmentación en cada caso, se calcularon las diferencias de color (ΔE^*_{ab}) entre el color de las disoluciones de antocianos (A) y las mismas copigmentadas (C) con extractos fenólicos de semillas sobremaduras PX y MO (Ec. 3), las cuales son interpretable visualmente [2]. Asimismo, se calcularon la variaciones relativas de claridad, croma y tono con respecto a cada diferencia de color absoluta, que permite comparar el peso que cada atributo tiene sobre una variación de color dada, según las ecuaciones 4, 5, y 6.

$$\Delta E^*_{ab\ (C\text{-}A)} = ((L^*_C - L^*_A)^2 + (a^*_C - a^*_A)^2 + (b^*_C - b^*_A)^2)^{1/2} \quad (3)$$

$$\%\Delta L = ((\Delta L^*)^2 / (\Delta E^*_{ab})^2) \times 100 \quad (4)$$

$$\%\Delta C = ((\Delta C^*_{ab})^2 / (\Delta E^*_{ab})^2) \times 100 \quad (5)$$

$$\%\Delta H = ((\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{ab})^2))^{1/2} \quad (6)$$

Los resultados obtenidos y presentados en la Figura 2, confirmaron que los extractos fenólicos de semillas sobremaduras de MO indujeron mayores variaciones de color en las disoluciones de antocianos que los de PX (ΔE^*_{ab} = 6 - 8 y 2 - 3.5, respectivamente), siendo visualmente apreciables a todas las concentraciones ensayadas ($\Delta E^*_{ab} > 3$), según Martínez et al. [3]. Las diferencias de color producidas por todos los extractos ensayados, excepto para los de PX-100, fueron a su vez mayores que las descritas en bibliografía para extractos fenólicos procedentes de orujos, semillas, hollejos y raspones procedentes de uvas no sobremaduradas, cuando fueron aplicados a la misma concentración [4]. En particular, los mayores valores de %ΔH obtenidos por los extractos de MO (>50%), indican que la variación de color inducida por esta variedad es debido en mayor medida a cambios cualitativos, mientras que para los extractos de PX a cambios cuantitativos (%ΔL > 60%). En ambos casos, las variaciones relativas de croma fueron similares (%ΔC < 6%).

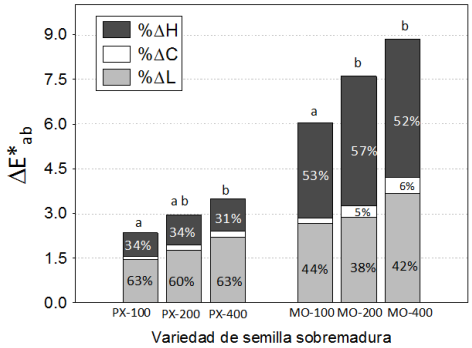


Figura 2. Diferencias de color entre la disolución control (ANT) y las mismas adicionadas con extractos fenólicos de semillas sobremaduras. PX: Pedro Ximénez; MO: Moscatel; 100, 200, 400 mg/L fenoles totales.

Evaluación colorimétrica diferencial del efecto de la copigmentación en la estabilidad del color

La evolución de los parámetros CIELAB (L*, C^*_{ab}, h_{ab}) de las disoluciones durante 90 días de almacenamiento en oscuridad (Figura 3) indicaron que el cambio de color en todas las disoluciones fue debido a incrementos importantes del tono, y ligeramente de claridad. No obstante, las disoluciones de antocianos adicionadas con extractos fenólicos de semillas sobremaduras de PX y MO mantuvieron mayores valores de C^*_{ab} y menores de L* durante el almacenamiento, indicando que mantuvieron durante más tiempo una mayor intensidad cromática y colores más oscuros.

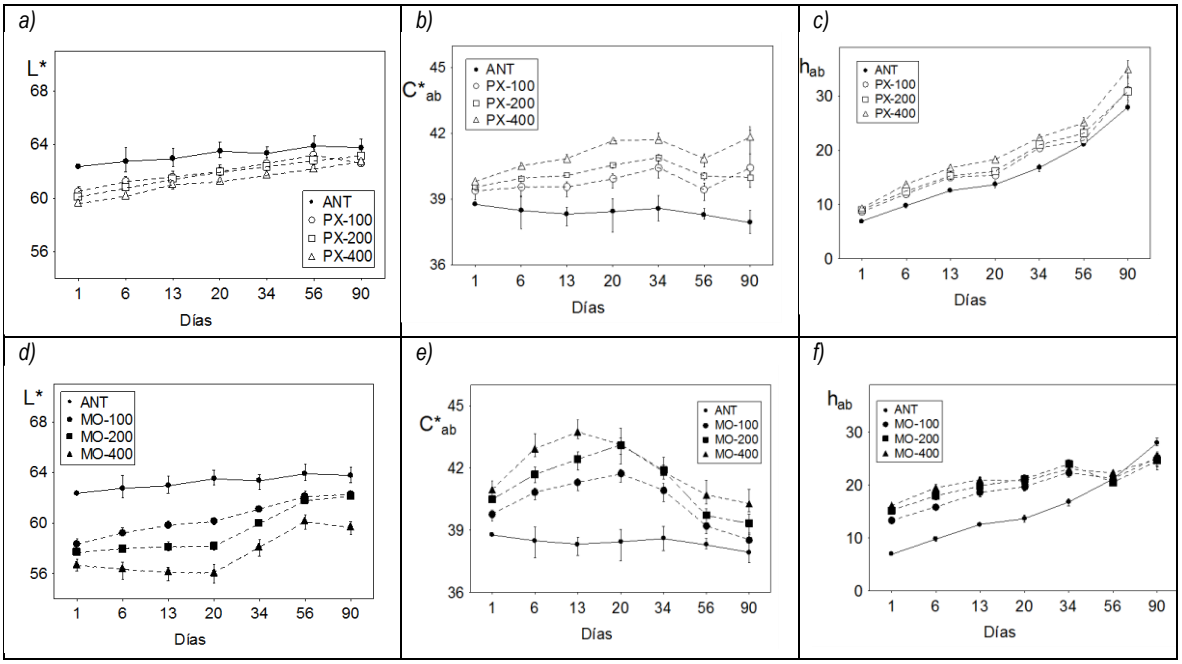


Figura 3. Evolución de los parámetros de color CIELAB (L*, C^*_{ab}, h_{ab}) en las disoluciones durante 90 días de almacenamiento.

Además, como índice de estabilidad cromática de las disoluciones, se calcularon las diferencias de color global (ΔE^*_{ab}) y para cada atributo (ΔL^*, ΔC^*_{ab}, y Δh_{ab}) en cada disolución entre el día 1 y 90 de almacenamiento (Tabla 1). Los menores valores de ΔE^*_{ab} (7 - 9) se obtuvieron con los extractos fenólicos de MO, indicando una mayor estabilidad cromática de los antocianos del vino durante el almacenamiento en presencia de éstos. Los valores de ΔE^*_{ab} fueron sin embargo similares entre las disoluciones ANT y PX (14 - 18), confirmando una estabilidad similar.

	ANT	PX-100	PX-200	PX-400	MO-100	MO-200	MO-400
ΔE^*_{ab}	14.1 ± 0.5a	14.5 ± 1.9a	14.5 ± 1.0a	18.2 ± 1.3b	9.1 ± 0.8b	8.0 ± 0.8bc	7.0 ± 0.7c
ΔL^*	1.4 ± 0.6a	2.3 ± 0.4b	1.4 ± 0.6b	0.5 ± 0.6b	3.9 ± 0.1bc	3.2 ± 0.3c	1.6 ± 0.4c
ΔC^*_{ab}	-0.8 ± 0.5a	0.2 ± 0.1b	0.6 ± 0.4b	2.2 ± 0.3c	-1.2 ± 0.2a	-1.2 ± 0.5a	-0.7 ± 0.4a
Δh_{ab}	21.1 ± 0.8a	21.0 ± 2.3a	20.6 ± 1.7a	25.23 ± 1.6b	11.8 ± 1.2b	9.3 ± 1.9b	8.9 ± 0.8b

Tabla 1. Diferencias de color calculada para disolución entre el día 1 y 90 de almacenamiento, junto con las variaciones absolutas de claridad, croma y tono (ΔL^*, ΔC^*_{ab}, y Δh_{ab}).

Agradecimientos: AGL2017- 383 84793-C (MINECO) y VPPI (US).

Bibliografía

[1] F.J. Rivero, M.J. Jara-Palacios, B. Gordillo, F.J. Heredia, M.L. González-Miret, "Impact of a post-fermentative maceration with overripe seeds on the color stability of red wines", Food Chem. **272**, p. 329 (2019).

[2] B. Gordillo, F.J. Rodríguez-Pulido, M.L. González-Miret, N. Quijada-Morín, J.C. Rivas-Gonzalo, I. García-Estévez, M.T. Escribano-Bailón, "Application of differential colorimetry to evaluate anthocyanin-flavonol-flavanol ternary copigmentation interactions in model solutions", J. Agric. Food Chem. **63**, p. 764 (2015).

[3] J.A. Martínez, M. Melgosa., M.M. Pérez, E. Hita, I. Negueruela, (2001). "Note. Visual and instrumental color evaluation in red wines". Food Sci. Technol. Int, **7**, p. 439, (2001)

[4] M.J. Jara-Palacios; B. Gordillo, M.L. González-Miret, D. Hernanz, D.; M.L. Escudero-Gilete, F.J. Heredia, "Comparative study of the enological potential of different winemaking byproducts: implications in the antioxidant activity and color expression of red wine anthocyanins in a model solution", J. Agric. Food Chem., **62**, p. 6975 (2014).

La percepción del color en espacios arquitectónicos a través de la Realidad Virtual en personas mayores dependientes. Caso de estudio

Ana Torres Barchino[1*], Anna Delcampo Carda[1] y Jorge Llopis Verdú[1]

[1]*Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Instituto de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València.*

http://grupocolor.webs.upv.es

1. Introducción

La presente comunicación atiende a una de las fases del proyecto de investigación I+D+i titulado "Modificaciones del confort visual en centros residenciales para la mejora de la calidad de vida de las personas mayores". La investigación pretende establecer directrices para la caracterización cromática de los distintos tipos de espacios arquitectónicos destinados a personas mayores. El tratamiento del color se propone como elemento fundamental para ayudar a crear estados de confort visual y bienestar, y consecuentemente mejorar su entorno en los espacios donde se desarrollan las diversas actividades de este colectivo, así como la mejora de calidad de vida y estabilidad emocional. Para ello, se han desarrollado hasta el momento diversos trabajos de campo que a continuación se indican: En primer lugar, la contextualización del color en los centros de residencia [1], a través de visitas de campo a centros residenciales para personas mayores situados en la Comunidad Valenciana. En segundo lugar, el impacto del color en la arquitectura en personas mayores residentes, y su percepción del bienestar, según el tipo de estancia y la actividad que en ella se desarrolla, a través de un ensayo práctico con 134 participantes residentes en 20 centros residenciales. Por último, objeto de la presente comunicación, y partiendo de estos resultados previos, se lleva a cabo un nuevo ensayo donde residentes y trabajadores de un centro residencial, caso de estudio, visualizan distintas escenas cromáticas de estos tres espacios habituales, mediante el uso de las gafas de Realidad Virtual, a partir de panoramas 360º. Se estudia, cómo influye a las personas mayores esta forma de representación gráfica, como es el panorama 360º en gafas de Realidad Virtual, en la visualización de espacios con distintas escenas cromáticas.

En estos últimos años, se han llevado a cabo estudios que demuestran el creciente interés por el uso de gafas de Realidad Virtual como nuevo método de percepción de espacios y ambientes. A pesar de que estos estudios son más limitados en cuanto a personas mayores se refiere, destacan las investigaciones que emplean la RV para profundizar en la mejora de la orientación de la persona en el espacio [2], la práctica cognitiva [3], así como en el entrenamiento del control postural [4] y la memoria [5]. En el diseño arquitectónico de espacios interiores, el color es valorado como una de las herramientas más útiles para modificar las características del espacio [6]. El color, aplicado de una determinada manera, además de poseer la cualidad de otorgar carácter a un espacio, es capaz de influenciar al ser humano, mejorando su autonomía, incluso llegando a estimular el comportamiento de la persona [7]. Sin embargo, el objetivo de simular escenas cromáticas mediante gafas de RV, de acuerdo con la percepción de la realidad, es una tarea compleja. Es necesario tener en cuenta, por un lado, la representación de la interacción de los elementos arquitectónicos con la luz y por otro, la percepción del color en el medio digital. Estas dos tareas deben resolverse hasta conseguir una percepción de la realidad lo más objetiva posible.

2. Objetivo

El objetivo principal de la presente comunicación es evaluar de forma directa la experiencia y vivencia de personas mayores residentes y su interacción con la Realidad Virtual, para determinar sus necesidades, experiencias y opiniones sobre cómo influye su percepción según la escena cromática a la que son expuestos y evaluar los efectos de dicha escena cromática en espacios interiores de centros residenciales. Se analizan tres espacios con tres usos distintos: una sala de actividades, un pasillo y un dormitorio. Se emplean las gafas de Realidad Virtual, y el cambio de color de las paredes que conforman cada espacio.

* *e-mail*: atorresb@ega.upv.es

3. Método

Participantes: Los datos del presente estudio han sido obtenidos a partir del encuentro con personas mayores residentes de un centro residencial de personas mayores, el Geriátrico Borja, en Fontilles, Alicante. Los participantes que llevan a cabo la prueba son elegidos por el personal experto de cada residencia, entre aquellos residentes con mejores capacidades cognitivas, sin ningún tipo de discapacidad o estado de salud grave. En total, participaron 10 personas mayores residentes y 6 trabajadores (Tabla 1).

PARTICIPANTE	EDAD	GÉNERO	PROFESIÓN	TIEMPO DE PERMANENCIA EN EL CENTRO
Residente 1	84	Hombre	Dependiente	7,5 años
Residente 2	79	Hombre	Agricultor	1,5 años
Residente 3	77	Hombre	Marinero mercante	5 años
Residente 4	76	Hombre	Camionero	5 años
Residente 5	77	Hombre	Defensa USA	16 años
Residente 6	82	Hombre	Pintor	17 años
Residente 7	65	Mujer	Sra limpieza	6 años
Residente 8	61	Mujer	Bachiller	1 mes
Residente 9	84	Mujer	En el campo	3 años
Residente 10	76	Mujer	Ropero en colegio de niños	8 años
Trabajador1	33	Mujer	TASOC	11 años
Trabajador2	41	Mujer	Directora	16 años
Trabajador3	25	Mujer	Fisioterapeuta	3 años
Trabajador4	40	Mujer	Trabajadora social	11 años
Trabajador5	52	Mujer	Limpieza	21 años
Trabajador6	42	Mujer	Coord. De auxiliares	20 años

Tabla 1: Datos de los participantes: residentes y trabajadores del centro

Estímulos presentados: Se determinan los tres espacios habituales más utilizados por los residentes y trabajadores, es decir, la sala de actividades, el pasillo de uso diario, y el dormitorio. De cada uno de estos espacios se elaboran diversas escenas cromáticas, donde se modifica el tratamiento de los paramentos verticales, generando para la sala de actividades, 5 escenas cromáticas; para el pasillo, 3 escenas cromáticas; y para el dormitorio, 4 escenas cromáticas. Se interfiere únicamente en los paramentos verticales de cada sala. La propuesta cromática que se muestra para cada espacio viene determinada según las conclusiones obtenidas en las fases anteriores del estudio, con unos valores determinados. Se pretende, en esta fase, emplear estas conclusiones incorporando las combinaciones cromáticas en diseños concretos y variados.
Cuestionario: Se elabora un cuestionario para cada participante, consistente en 3 partes diferenciadas, basadas en la evaluación de los tres principales espacios reales existentes en dicho centro residencial. Cada uno de estos espacios es presentado de forma individual, por orden de estancia. El observador debe valorar cada espacio del 0 al 5 (Tabla 2), y aportar una palabra que le sugiera dicho espacio, para conocer su opinión más concreta. Las instrucciones son verbales; cada participante, por orden, responde y comenta su elección, mientras que un investigador rellena el cuestionario para cada participante.

0	1	2	3	4	5
Indiferente	Nada	Poco	Medio	Bastante	Mucho

Tabla 2: Sistema de valoración empleado

Materiales: Se utiliza el panorama 360º como método de representación gráfica del espacio en gafas RV. Además, se emplea Photoshop como Software de edición de imágenes. Se recurre al Natural Color System para describir los colores utilizados en la presente investigación.
Análisis de los resultados: Los resultados obtenidos son tratados, analizados e interpretados mediante software estadístico para obtener los porcentajes de respuesta según las variables de cada pregunta.

4. Resultados

Este ensayo se lleva a cabo en el Centro Geriátrico Borja de Fontilles, un edifico situado en un entorno natural complejo arquitectónico singular [8]. Un emplazamiento donde la orientación, la iluminación natural y presencia de vegetación hacen de éste un edificio con unas condiciones particulares. Por lo que respecta al centro, el edificio ha sido rehabilitado para convertirse en centro residencial destinado a

personas mayores dependientes, adaptando sus espacios a las condiciones requeridas. Se presentan, a continuación, los resultados obtenidos en los cuestionarios sobre percepción en gafas RV (Tabla 3).

	SALA DE ACTIVIDADES					PASILLO			DORMITORIO			
	Blanco valor	1 valor	2 valor	3 valor	4 valor	Blanco valor	5 valor	6 valor	Blanco valor	7 valor	8 valor	9 valor
Residente 1	2	3	4	**5**	**5**	3	4	**5**	0	3	4	**5**
Residente 2	2	3	4	**5**	**5**	3	4	**5**	3	4	**5**	4
Residente 3	**5**	4	**5**	**5**	4	1	**5**	**5**	3	3	**4**	**4**
Residente 4	0	3	2	**4**	2	**3**	2	1	**3**	2	2	2
Residente 5	1	**4**	1	3	2	**4**	3	3	3	**4**	1	3
Residente 6	0	**4**	2	**4**	1	**4**	2	**4**	1	1	1	1
Residente 7	4	3	4	**5**	**5**	**0**	**5**	4	**5**	2	1	**5**
Residente 8	0	4	3	**5**	2	0	3	**5**	1	**5**	1	3
Residente 9	4	4	**5**	4	4	3	**4**	**4**	4	4	**5**	**5**
Residente 10	1	2	**5**	1	1	**3**	1	2	1	1	2	**4**
RESULTADO	**1.9**	**3.4**	**3.5**	**4.1**	**3.1**	**2.4**	**3.3**	**3.8**	**2.4**	**2.9**	**2.6**	**3.6**
Trabajador1	2	4	2	**5**	2	1	3	**4**	1	2	1	**5**
Trabajador2 2	1	3	4	**5**	2	1	**3**	2	1	2	2	**3**
Trabajador3 3	2	3	1	**4**	2	2	**3**	2	**3**	1	1	2
Trabajador4 4	0	3	**5**	2	2	0	1	**4**	0	2	2	**4**
Trabajador5	0	4	4	**5**	3	2	3	**4**	0	2	1	**5**
Trabajador6	1	4	2	3	**5**	1	**5**	3	1	**5**	0	4
RESULTADO	1	**3.5**	**3**	**4**	**2.6**	**1.2**	**3**	**3.2**	**1**	**2.3**	**1.2**	**3.8**

Tabla 3: Respuestas obtenidas por los participantes



Figura 1: Fila superior: experiencia de la actividad. Participantes residentes y trabajadoras del centro. Fila inferior: ejemplo de propuestas cromáticas empleadas en espacios interiores del Centro Borja en Fontilles.

Esta experiencia práctica visual realizada en el Centro de mayores dependientes (Figura 1), ha tenido como uno de los resultados más apreciables, la conexión entre la persona residente y la aproximación con la tecnología. Un encuentro donde se aúna el interés por lo nuevo e innovador que, los mayores dependientes, no han tenido la oportunidad de conocer por otros medios y, percibir sus propios espacios con una nueva imagen.

La respuesta emocional de los residentes ha sido pues, uno de los factores de mayor impacto: la curiosidad ante lo irreal, la observación ante el color y el comportamiento positivo del grupo durante el ensayo. En los ensayos, se demostró dos aspectos a destacar, por un lado, algunas dificultades visuales ante los estímulos cromáticos (visión borrosa lateral o de menor importancia y puntualmente un cierto grado de daltonismo, no en todos los casos) y por otro lado, poca o nula dificultad a la hora de desenvolverse en esta práctica.

Aquellas que su falta de visión era parcial, demostraban ciertos miedos ante la incapacidad de control del movimiento, permaneciendo sentados o apoyados en un asiento, el desequilibrio típico de una visión borrosa de las imágenes mostradas en un entorno virtual. Pero, por lo general, en todos los residentes, mostraron interés y sus respuestas fueron óptimas tras la experiencia.

Cabe resaltar, por último, que los espacios con color fueron mejor valorados que los espacios blancos, prácticamente de forma unánime [9]. Así lo demuestran estudios científicos que analizan los inconvenientes de los espacios con un uso predominante de color blanco, capaces de conseguir una monotonía y falta de estimulación en el usuario [10], impedir el proceso de orientación [11], al verse como espacios monótonos y carentes de interés, debido a la carencia de estimulación sensorial y un nivel alto de reflectancia de la luz, pudiendo llegar a causar fatiga visual [12], o ansiedad y depresión [13].

5. Conclusiones

En la presente comunicación se presenta una fase del proyecto de investigación MODIFICA a través de un caso de estudio concreto, concretamente, el Centro Borja, en Fontilles. Cada centro residencial destinado a personas mayores tiene unas características propias y particulares que deben ser tenidas en cuenta a la hora de intervenir cromáticamente en sus espacios interiores. Un conocimiento exacto del contexto es necesario, por lo que se debe tener en cuenta, por un lado, en qué lugar se va a intervenir, sus características arquitectónicas y ambientales, y por otro lado, qué tipo de actividad se desarrolla en cada espacio. Sólo conociendo estos factores será posible definir una paleta cromática adecuada [14]. No hablamos de tendencias ni modas temporales, si no de dar respuesta a unas necesidades concretas, a partir de criterios de diseño razonados y justificados. Es necesario profundizar en este tipo de investigaciones, analizando cada una de las estancias que componen un centro residencial destinado a personas mayores.

Agradecimientos: Este proyecto de investigación I+D+i, con referencia BIA2016-79308-R es financiado por la Agencia Estatal de Investigación y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (AEI/FEDER, UE), Retos de la Sociedad. Destacar la colaboración realizada por los miembros del equipo MODIFICA, al prof. Pedro Cabezos por la elaboración de los panoramas360 y al investigador Eduard Baviera por colaborar en la modificación cromática y diseñar la página web MODIPANO.

Bibliografía

[1] A. Torres Barchino, J. Llopis Verdú, J. Serra Lluch, and A. Delcampo Carda, “Design of Residential Centres for the Elderly and the Perception in Their Spaces,” in *Graphic Imprints*, 2018, pp. 1492–1502.

[2] S. Lee, “Understanding Wayfinding for the Elderly Using VR,” in *Proceedings of the 9th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry*, 2010, pp. 285–288.

[3] R. I. Garcia-Betances, V. Jiménez-Mixco, M. T. Arredondo, and M. F. Cabrera-Umpiérrez, “Using virtual reality for cognitive training of the elderly,” *Am. J. Alzheimer’s Dis. Other Dementias®*, vol. 30, no. 1, pp. 49–54, 2015.

[4] S.Virk and K.M.V. McConville,“Virtual reality applicat. in improving postural control and minimizing falls” in *Internat.Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2006, pp. 2694–2697.

[5] G. Optale, C. Urgesi, V. Busato, S. Marin, L. Piron, K. Priftis, L. Gamberini, S. Capodieci, and A. Bordin, “Controlling memory impairment in elderly adults using virtual reality memory training: a randomized controlled pilot study,” *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 24, no. 4, pp. 348–357, 2010.

[6] A. Delcampo-Carda, A. Torres-Barchino, and J. Serra-Lluch, “Chromatic interior environments for the elderly: A literature review,” *Color Res. Appl.*, vol. 44, no. 3, pp. 381–395, 2019.

[7] A. Delcampo Carda and A. Torres Barchino, “El uso del color como recurso para reforzar intenciones arquitectónicas: estudio de tres intervenciones en espacios para la salud y el bienestar,” in *XI Congreso Nacional de Color*, 2016, pp. 39–42.

[8] J. Llopis Verdú, *Arquitectura y paisaje en el Sanatorio de Fontilles*. Univ. Politècnica de València, 2017.

[9] A. Torres Barchino, J. Serra Lluch, J. Llopis Verdú, and A. Delcampo Carda, “Studies on Color in Residential Architecture for the Elderly,” in *13th International AIC Congress. Being Color with Health.16-20 October 2017*, 2017, pp. OS03-04.

[10] H. Dalke, J. Little, E. Niemann, N. Camgoz, G. Steadman, S. Hill, and L. Stott, “Colour and lighting in hospital design,” *Opt. Laser Technol.*, vol. 38, no. 4–6, pp. 343–365, Jun. 2006.

[11] A. Delcampo Carda, A. Torres Barchino, and J. Serra Lluch, “El color como estrategia para mejorar la orientación y capacidad sensorial en la arquitectura destinada a personas mayores,” in *Dibujar, Construir, Soñar.Investigaciones en torno a la expresión gráfica aplicada a la edificación*, F. Felip Miralles, J. Gual Ortí, M. Cabeza González, and C. García García, Eds. Castellón: Tirant Lo Blanch, 2016, pp. 229–244.

[12] H. Mahnke Frank and H. Mahnke Rudolph, *Color and light in man-made environments*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1987.

[13] R. A. Ainsworth, “Color in the work environment,” 1989.

[14] A. Torres Barchino, J. Llopis Verdú, J. Serra Lluch, and A. Delcampo Carda, “Percepción y diseño de espacios arquitectónicos destinados a la convivencia con personas mayores,” in *XVII Congreso Internacional EGA 2018*, 2018.

Diseño gráfico y cromático para mejorar la calidad de los espacios asistenciales: Hospital Universitari i Politècnic La Fe.

Juan Serra Lluch[1*], Javier Cortina Maruenda[1], Ana Torres Barchino[1]

[1]*Equipo de Investigación del Color del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Universitat politécnica de València. C/ Camino de Vera s/n. CP 46022, Valencia*

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

1. Antecedentes

El color es un elemento intrínseco a cualquier arquitectura y por lo tanto una característica que siempre se ha considerado en la configuración de los espacios habitables a lo largo de la historia. Si bien este cromatismo tiene en origen un sentido estético y cultural, es a mediados del s. XIX cuando empieza a ser considerado de modo más racional y cientifista. Las teorías higienistas de este periodo terminan por ser plenamente asumidas por la arquitectura de la primera mitad del s. XX y el color no queda al margen de estas consideraciones. De este modo interpretan algunos autores [1] el triunfo del blanco como emblema de la arquitectura de la modernidad, pues expresa adecuadamente las aspiraciones regeneradoras e higienistas de los arquitectos europeos más emblemáticos. No obstante, conviene no olvidar que el predominio del blanco en la modernidad es un falso mito [2].

Algunos ejemplos de intervención cromática en los espacios asistenciales con un planteamiento teórico identificable se remontan a principios del s. XX. En 1912, el reconocido arquitecto Howard Kempt Prossor desarrolla una serie de esquemas cromáticos que aplica en hospitales ingleses para tratamiento de neurastenias y desórdenes nerviosos, y alcanza cierta relevancia en el ámbito médico. Prossor aseguraba 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 [3].

Autores más recientes han intentado concretar criterios de color para espacios hospitalarios. Así, Deriberé [4] propone el empleo de “tonos sedantes, que van del azul violeta al verde tilo” para los lugares de estancia prolongada. Muchas de estas afirmaciones no se encuentran suficientemente respaldadas científicamente y conviene recordar que no existe una causa irrefutable y universal entre el color y el ilimitado rango de respuestas psicológicas, biológicas y de comportamiento del ser humano [5]. Recientemente, y con el empleo de realidad virtual por inmersión y la técnica Kansei para identificar la voz del usuario, nuestro grupo de investigación ha colaborado en la identificación de los colores más adecuados para las salas de lactancia del Hospital Universitari i Politècnic La Fe de Valencia (La Fe) [6].

La reflexión sobre cómo disponer el color para intervenir en edificios asistenciales ha sido debatida en seminarios específicos de arquitectura [7], aunque con escasa repercusión en el ámbito arquitectónico. En España existen también experiencias concretas de intervenciones cromáticas en espacios hospitalarios destinados a público infantil, como las realizadas por la fundación CurArte [8], la Asociación Cultural Senmarco, que involucra a los pacientes en el propio proceso de diseño [9], o la Fundación Juegaterapia.

2. Caso de estudio

En el curso 2016/17, en el contexto de la asignatura “Graphic and Chromatic Design” del Máster Habilitante de Arquitectura de la ETSA UPV, se organiza un concurso de ideas para desarrollar una propuesta de intervención cromática en el Área Clínica de Imagen Médica (ACIM) del hospital La Fe. Concretamente en la sala de espera de los pacientes hospitalizados y los pasillos que le dan acceso. La intervención es continuadora de otras realizaciones anteriores ya iniciadas por el ACIM para dotar de mayor calidad a sus espacios arquitectónicos y forma parte de una línea estratégica desde la Gerencia del Hospital, incluida en el Plan Estratégico del Departamento, dentro de un programa llamado ‘Hospital Amable’.

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

Mediante una sencilla propuesta gráfica y cromática, se propone intervenir en las superficies interiores de la sala de espera (paredes, techo y suelos), así como diseñar de un parabán para separar las camas que sea coherente con la intervención arquitectónica general. La propuesta arquitectónica es completa y responde a los aspectos funcionales, compositivos, estéticos, culturales y cualesquiera otros que concurren en el diseño del espacio interior, tomando como punto de partida las intervenciones anteriores realizadas en el ACIM y que empleaban la naturaleza como referente artístico

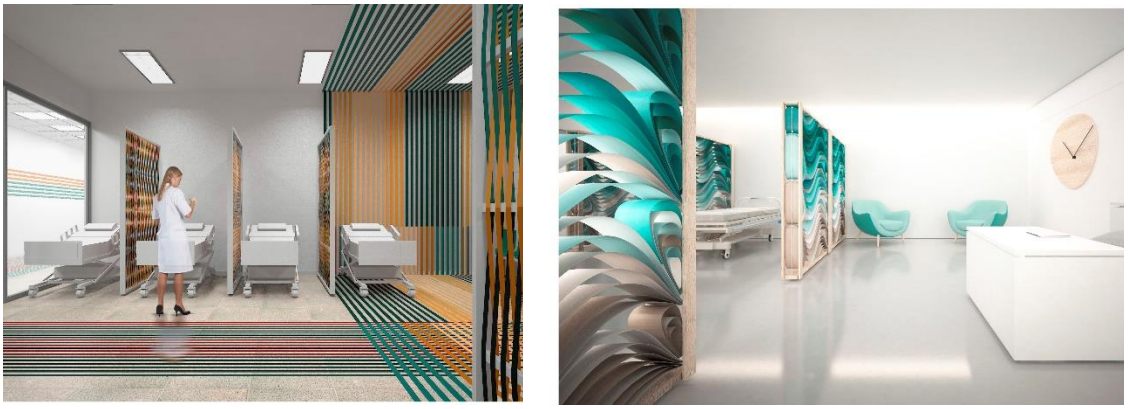


Figura 1: Vistas interiores de algunas propuestas arquitectónicas. Izqda.: "Line Up" de Ricardo Orts Conejero. Dcha. "Espacios para la Vida" de Esther Martínez Martínez.

3. Materiales y método

Para el desarrollo de las propuestas de intervención gráfica y cromática en arquitecturas concretas, los alumnos disponen de información del espacio a intervenir, planimétrica y fotográfica, así como del material teórico completo de la asignatura. Estos contenidos teóricos están publicados en la editorial Princeton Architectural Press bajo el título "Color for Architects" [10].

El contenido teórico se estructura en tres apartados. En primer lugar, se asientan las bases fundamentales sobre el color: descripción del color y sus variables físicas y perceptivas, descripción de los sistemas de notación del color, experimentación de las condiciones visuales que alteran el color percibido, mecanismos para anticipar las diferencias entre color inherente y color percibido, y criterios de combinación de colores. En segundo lugar, se asientan las bases para un empleo crítico del color en la arquitectura: el color en la historia de la arquitectura moderna y contemporánea, capacidad estratégica del color para respaldar unas determinadas intenciones arquitectónicas; y se evalúan las connotaciones semánticas y culturales del color. En tercer lugar, el alumno adquiere las habilidades para establecer un adecuado flujo de trabajo para gestionar el color a lo largo del proceso de diseño, desde la ideación hasta la puesta en obra: calibrado de dispositivos, conversión entre espacios de color y formatos de archivos digitales, edición del color en fotografías, y empleo del color en los paneles para concursos de arquitectura.

Quizá uno de los aspectos más interesantes del planteamiento crítico y experimental del contenido de la asignatura reside en la doble transferencia de conocimiento que se produce. Por un lado, el análisis crítico del papel que el color desempeña en la arquitectura contemporánea amplía el repertorio de posibilidades plásticas de las que un arquitecto es conocedor y a la vez estimula a la propia acción. Por otro lado, el desarrollo experimental supone una activación efectiva de la propia creatividad y permite poner en juego la capacidad de juicio o autocrítica sobre las propias decisiones cromáticas a la hora de desarrollar un proyecto de arquitectura. En definitiva, se consigue integrar la variable cromática en la dialéctica discursiva-creativa que supone toda creación arquitectónica.

De este modo, y por nombrar algunos casos a modo de ejemplo, el alumno pone en práctica los recursos cromáticos que permiten interferir en la organización funcional de los espacios arquitectónicos, en la orientación de los usuarios y sus circulaciones, o en la caracterización del destino funcional, a partir de la lectura crítica de algunas obras construidas de Norman Foster (junto a Per Arnoldi), Richard Rogers o Renzo Piano. En ocasiones se trabaja con la relación dialéctica que una arquitectura establece con su contexto, desde el mimetismo a la singularidad, a partir de las soluciones empleadas por arquitectos como MVRDV, Neutelings Riedijk, Jean Nouvel, etc. Otras veces el alumno plantea en su proyecto gamas de colores sutiles donde dominan los aspectos de contraste de claroscuro frente a los tonales y de saturación del color, acompañado de arquitecturas concretas de Selgas Cano, RCR, Peter Zumptor, etc. Las posibilidades de dinamismo, cinética en los espacios, anamorfismos y efectos ópticos se ponen en práctica

tomando como referencia intervenciones de artistas vinculados con movimientos artísticos como el Op Art, cinetismo, etc: Felice Varini, Olafur Eliasson, Carlos Cruz Díez, Boa Mistura, etc.

En definitiva, el elenco de recursos cromáticos asimilados tras un trabajo de análisis y comprendidos como vehículos eficaces para alcanzar intenciones arquitectónicas vertebradas en la ideación de la arquitectura, sirven de apoyo para el desarrollo personal de una intervención concreta que tiene sus propios condicionantes y a la que se da respuesta recurriendo a la plástica del color y su materialidad.

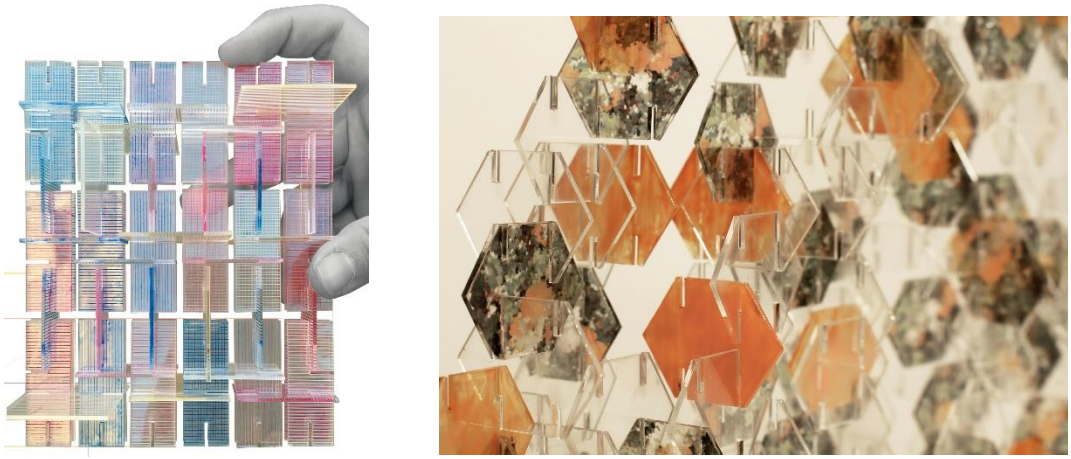


Figura 2: El empleo de maquetas físicas resulta muy útil para experimentar las soluciones de color adoptadas. Izqda.: "Paracril" de Fernando Hernández García-Forte y Celia Osca Guadalajara. Drcha.: "Fractal Nature" de Teresa García Calvo y María Inés Pérez López.

4. Resultados

Los resultados de los trabajos fueron expuestos en el hospital La Fe en enero de 2018 y pueden ser consultados en la página web de la asignatura.[1] Hubo un total de 16 propuestas trabajadas de modo individual o por parejas. Cada una de ellas se mostraba en 4 paneles de tamaño DIN A2 y un pequeño video de presentación que se divulgó por redes sociales.[2]

El proyecto ganador bajo el lema "Les nymphéas" correspondió a la arquitecta María Palazón Ros. A partir de una reinterpretación del cuadro Los Nenúfares de Claude Monet (1920-1926), se dispone una gama de colores fríos verdes y azulados propia de los espacios hospitalarios (NCS S5040-B80G, NCS 4050-R70B, NCS 0530-G, NCS 0530-B, NCS 1555-R80B, NCS 2050-G), que se complementa con dos colores que sirven de contrapunto: un rosa claro (NCS 0530-R10B) y un verde amarillento claro (NCS 0565-G50Y). Se adopta una geometría a base de círculos coloreados sobre un soporte de metacrilato transparente en tres niveles, de modo que los colores se superponen creando una mezcla óptica en la que aparecen colores nuevos. La sala de espera con la nueva intervención cromática fue inaugurada el 23/10/2018.

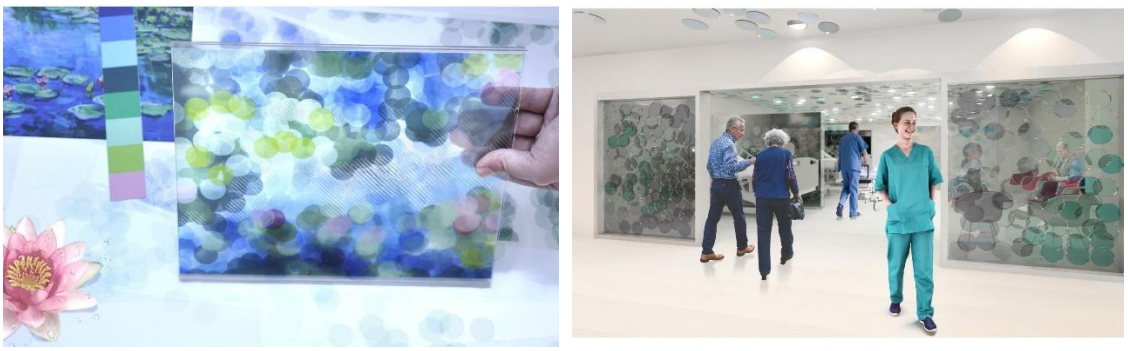


Figura 3: Fragmentos de la propuesta ganadora del concurso. "Les Nympheas" de María Palazón Ros.

[1] https://graphicandchromaticdesign.blogs.upv.es/hospitallafe/
[2] https://www.youtube.com/playlist?list=PLgN-ksaavuuE6yDVc8YBw5Ve2RfcEjKkU

5. Conclusiones

La introducción de elementos gráficos y de color en un espacio asistencial existente es una manera sencilla de mejorar su calidad arquitectónica y permite incrementar el bienestar de pacientes y trabajadores. Las experiencias docentes llevadas a cabo en la asignatura "Graphic and Chromatic Dessign" del Máster Habilitante en Arquitectura de la UPV en colaboración con la Unidad Clínica de Imagen Médica del Hospital Universitari i Politécnic La Fe en Valencia, así lo demuestran. Además, el desarrollo de un trabajo académico en modalidad de concurso y con una aplicación directa a un caso real trasciende el marco estrictamente académico y prepara al alumno de máster para su trabajo profesional inmediato. En definitiva, la colaboración entre las entidades involucradas, UPV y La Fe, redunda en beneficio de ambas partes y repercute positivamente a toda la sociedad, pues ha permitido mejorar la calidad arquitectónica de sus instalaciones asistenciales.



Figura 4: Profesores de la UPV, alumna ganadora y personal del Hospital La Fe ante la intervención cromática una vez finalizada, 23/10/2018.

Agradecimientos: Al Dr. Luis Martí-Bonmatí, director del área Clínica de Imagen Médica del Hospital La Fe y a la Dra. arquitecta Carla Sentieri Omarrementeria, profesora titular del Departamento de Proyectos de la ETSAV por ofrecernos la oportunidad de esta fructífera colaboración.

Bibliografía

[1] M. Wigley, *White walls, designer dresses : the fashioning of modern architecture*. Cambridge: MIT Press, 1995.
[2] J. Serra, "The myth of the colour white in the Modern Movement," *Disegnare Idee Immagin. Images*, vol. 21, no. 41, pp. 66–77, 2010.
[3] L. Farrer-Brown, *Studies in the functions and design of hospitals : the report of an investigation [...]*, 2nd ed. London ;New York ;Toronto: Oxford University Press, 1957.
[4] M. Déribéré, "El Color en las actividades humanas." 1963.
[5] Z. O'Connor, "Colour psychology and colour therapy, Caveat emptor," *Color Res. Appl.*, vol. 36, no. 3, pp. 229–234, 2011.
[6] J. López-Tarruella, C. Llinares Millán, J. Serra Lluch, S. Iñarra Abad, and H. Wijk, "Influence of Color in a Lactation Room on Users' Affective Impressions and Preferences," *HERD Heal. Environ. Res. Des. J.*, p. 193758671879659, Sep. 2018.
[7] F. W. Schanda, Janos D. & Billmeyer Jr., "Use of Colors in Hospitals," *Color Res. Appl.*, vol. 6, no. 3, pp. 175–76, 1981.
[8] A. M. Ullán and P. Manzanera, "Las paredes cuentan: Arte para humanizar un espacio pediátrico," *Arte, Individuo y Soc.*, vol. 2009, 2009.
[9] B. Ante, R. González, X. López, C. Peleteiro, C. Rodríguez, and N. Ruibal, "Algo más que color. Terapia Habitacional de Hospital," *Arte, Individuo y Soc.*, vol. 23, pp. 203–211, 2012.
[10] J. Serra Lluch, *Color for architects*. New York: Princeton Architectural Press, 2019.

Evolución cromática de pigmentos históricos sometidos a envejecimiento acelerado con radiación UV

María González-Cabrera*, Julia Torres-López, Ana Domínguez-Vidal, y María José Ayora-Cañada

[1]*Departamento de Química Física y Analítica Universidad de Jaén, Campus la Lagunillas E-23071, Jaén, España*

http://www.ujaen.es

1. Resumen

La comprensión de los fenómenos asociados al envejecimiento de los materiales utilizados en la creación de una obra artística resulta esencial para el diseño de estrategias apropiadas de conservación. Tanto el soporte estructural utilizado como la obra artística en sí están sometidos a una serie de procesos físico-químicos motivados por factores medioambientales o por la acción del hombre que conducen a su alteración a lo largo del tiempo. La realización de ensayos de envejecimiento acelerado, si bien no puede reproducir en su totalidad las condiciones reales, puede contribuir a esclarecer estos procesos de alteración. En este trabajo se propone el estudio de las alteraciones cromáticas de una serie de pigmentos históricos, en presencia de distintos aglutinantes, cuando son sometidos a irradiación con luz ultravioleta a temperatura controlada. Además de la monitorización de los parámetros cromáticos, se propone un estudio complementario con otras técnicas analíticas, como micro-espectroscopías infrarroja y Raman, para tratar de obtener información sobre las alteraciones químicas a nivel molecular.

2. Materiales y métodos

2.1. Muestras modelo

Los pigmentos utilizados para este trabajo se obtuvieron en formato polvo a través de la casa comercial Kremer Pigmente. La coloración de los mismos abarca distintos tonos, incluyendo el azul, rojo, blanco, amarillo y naranja mediante los pigmentos: azurita ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$), cinabrio (HgS), blanco de plomo ($(PbCO_3)_2 \cdot Pb(OH)_2$), oropimente ($As_2S_3$) y minio ($Pb_3O_4$), respectivamente [1], como puede observarse en la Fig. 1. Los pigmentos se aplicaron sobre un soporte de escayola empleando como aglutinantes cola de conejo, temple de huevo y aceite de linaza. La elección tanto del soporte como de los pigmentos y aglutinantes se fundamenta en los materiales identificados en trabajos previos por el propio grupo de investigación en decoraciones de policromías de distintas salas de la Alhambra, en Granada [2].

* *mgcabrer@ujaen.es*

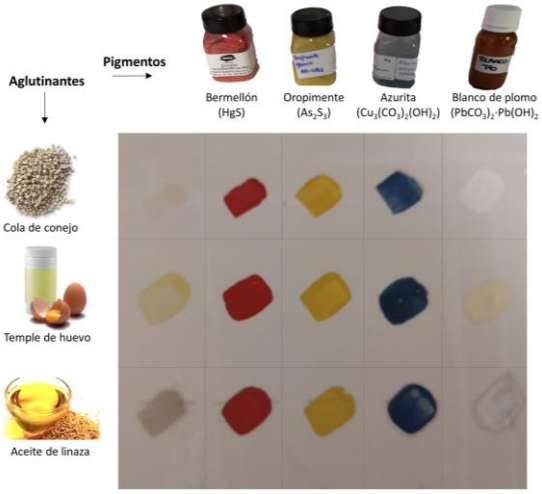


Figura 1: Esquema de la configuración de la tabla de escayola preparada con 4 muestras de pigmentos y 3 aglutinantes diferentes

2.2. Ensayos de envejecimiento UV

La cámara de envejecimiento UV utilizada consta de una cámara climatizada (420 mm x 304 mm x 325 mm), un armario UV (492 mm x 311 mm x 345mm) para la lámpara SwiftCure HL250 con filtro azul y sistema de control de temperatura con baño de agua. La radiación UV-A es de 315-400 nm: 30 W, y la radiación UV-B es de 280-315 nm: 3W. Las muestras modelo se sometieron a envejecimiento a temperatura controlada a 35ºC ± 0,6ºC durante períodos de 24h, 48h y 72h. Como referencia inicial se toman las muestras modelo antes de ser sometidas a envejecimiento (0h).

2. 3. Caracterización

2.3.1 Microscopía Óptica

Las imágenes obtenidas se registraron mediante el uso de un Microscopio Dino Lite, Digital Microscope, el cual dispone de diferentes objetivos entre 5 × y 200 ×, así como de un regulador de luz polarizada.

2.3.2 Espectroscopía de reflectancia con fibra óptica (FORS) y colorimetría

Las medidas de reflectancia en el rango visible de 400 a 700 nm se llevaron a cabo utilizando un espectrocolorímetro portátil StellarNet, equipado con un espectrómetro compacto Bluewave-Vis, una lámpara de tungsteno criptón y una sonda de fibra óptica (600 µm de diámetro interno). La medida se realizó manteniendo la sonda a 90º respecto a la muestra empleando como referencia un patrón de Halón de 50 mm. Los parámetros cromáticos se han obtenido empleando el sistema CIELAB (L*, a* y b*).

2.3.3 Microespectroscopía Raman

Se utilizó un microscopio Raman confocal, Renishaw inVia, equipado con un detector de CCD con sistema de refrigeración Peltier (−70 ° C). Dispone de cuatro objetivos (5×, 20×, 50× y 100×) y dos láseres para excitación a 514 y 785 nm.

2.3.4 Microespectroscopía FTIR

Los espectros infrarrojos en el rango 4000-750 cm^{-1} se registraron en modo de reflexión con un espectrómetro 6300 infrarrojo de transformada de Fourier (FTIR) Jasco acoplado a un microscopio FTIR IRT-7000 equipado con un detector de teluro de mercurio-cadmio (MCT).

3. Resultados

En la Fig. 2. Se muestran las variaciones en los parámetros cromáticos a* y b* observadas durante los tratamientos a 24h, 48h y 72h respectivamente, para las muestras de pigmentos individuales de la primera tablilla con el aglutinante aceite de linaza, por ser aquel con el que mejor progresión del color se observa durante el transcurso de los tratamientos realizados.

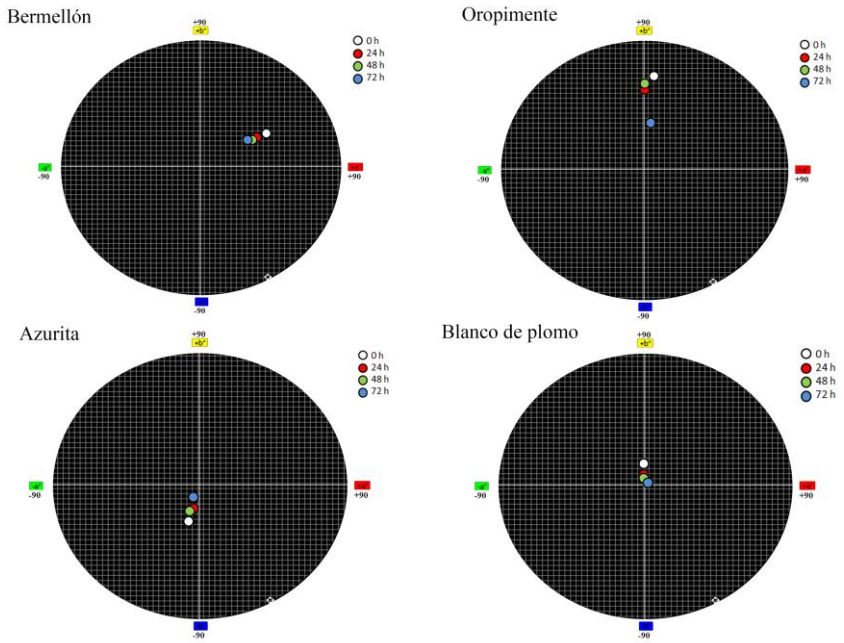


Figura 2: Gráficos de color obtenidos para los cuatro pigmentos analizados con aglutinante aceite de linaza en los que se observa la degradación del color (parámetros a* y b* mostrando los tonos verde-rojo y amarillo-azul, respectivamente) al finalizar cada uno de los tratamientos térmicos llevados a cabo manteniendo una temperatura de 35ºC.

Como se muestra en la figura anterior, todos los pigmentos van perdiendo su tonalidad inicial (0h) en función de los parámetros a* y b*, a medida que se someten a los progresivos tratamientos térmicos. En el caso del pigmento bermellón, el parámetro cuya pérdida es más acusada es +a* (siendo cada vez menos positivo; es decir, menos rojo). En el oropimente disminuye el parámetro +b* (hacia valores menos

amarillos) con un descenso drástico a las 72h. Algo similar ocurre en los casos de la azurita y blanco de plomo, en los cuales la mayor variación puede observarse de nuevo en el último tratamiento, perdiendo sus tonos azul y amarillo-blanquecino, respectivamente.

Estos parámetros pueden ser complementados con la luminosidad que muestra cada una de las muestras, medida a través del valor L, como puede observarse en la Fig. 3.

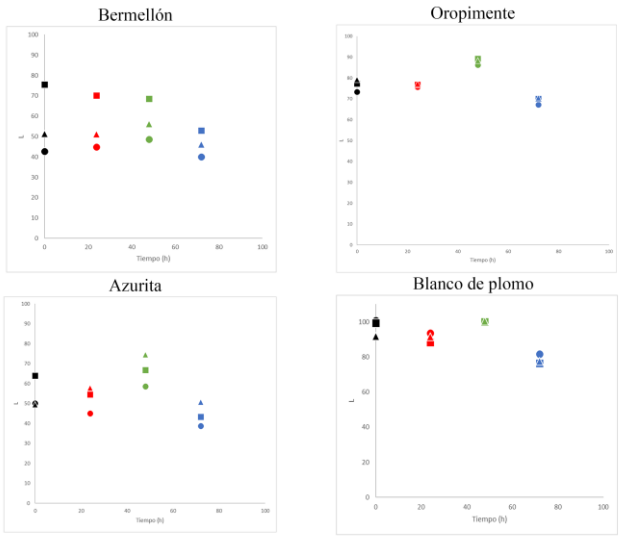


Figura 3: Gráficos del parámetro luminosidad (L) para los 4 pigmentos analizados con diferentes aglutinantes al finalizar cada uno de los tratamientos térmicos a 35ºC llevados a cabo con (○) cola de conejo, (□) temple de huevo y (△) aceite de linaza.

De nuevo puede observarse una pérdida en este parámetro como visión general para todos los pigmentos entre el inicio (0h) y el final del tratamiento realizado (72h). Sin embargo, aunque para el bermellón y azurita, la aplicación con temple de huevo es la más luminosa, para el oropimente y blanco de plomo no puede discernirse entre aglutinantes, adquiriéndose valores muy similares para todos ellos.

Agradecimientos: María González-Cabrera agradece a la ayuda predoctoral FPU15/03119 del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Los autores agradecen al proyecto BIA2017-87131-R, al grupo de investigación FQM-363 de la Universidad de Jaén y al CICT de la Universidad de Jaén por el apoyo técnico y económico brindado.

Bibliografía

[1] N. Eastaugh, V. Walsh, T. Chapli, and R. Siddall, *Pigment compendium : a dictionary and optical microscopy of historical pigments*. Butterworth-Heinemann, 2008.

[2] P. Arjonilla, A. Domínguez-Vidal, M. J. de la Torre López, R. Rubio-Domene, and M. J. Ayora-Cañada, “In situ Raman spectroscopic study of marble capitals in the Alhambra monumental ensemble,” *Appl. Phys. A*, vol. 122, no. 12, p. 1014, Dec. 2016.

Bidirectional Reflectance Distribution Function measurements on Single and Multiple layered Oil Paint Structures

Guusje Harteveld[1], Alejandro Ferrero[2,*]

[1]*Technical University Delft. Delft, Netherlands*

[2]*Instituto de Óptica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid 28006, Spain*

alejandro.ferrero@cisc.es

1. Introduction

Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) measurements have been carried out on oil paint samples in order to determine their spectral and angular distribution of the reflectance. The gonio-spectrophotometer setup at the CSIC (Figure 1) was used and provided BRDF data as well as CIELab data on the colour of the paint samples. The results show that it is possible to measure the BRDF and CIELab data of oil paint. Differences can be observed when comparing the reflectance of paint and paint with a glaze applied on top of it. The results as well indicate a clear difference in the acquired data which is caused by the substrate on which the paint was applied.

2. Experiment

The BRDF measurements were carried out using the system shown in Figure 1. The light source is a Xenon lamp which irradiates the surface of the sample through the Köhler system and a periscope setup indicated in the image. The sample is attached to the robot arm using a vacuum sucker and the robot arm makes it possible to move and align the sample in multiple directions. The spectrophotometer (SR) detects the reflected light in a range in the visible spectrum (380 nm to 780 nm) and it set to a variable field view of 1°. The instrument is mounted onto the cog wheel and travels along this wheel during the measurements [1].

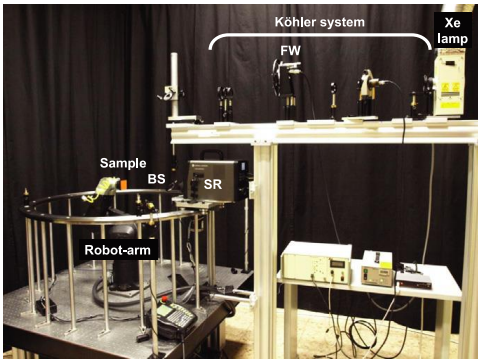


Figure 1: Setup of the system used to measure the BRDF and CIELab colour data.[1]

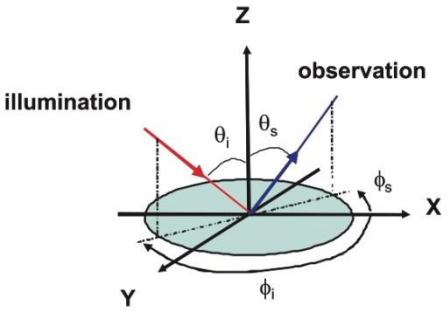


Figure 2: Sample coordinate system indicating the illumination (θ_i, ϕ_i) and observation angles (θ_r, ϕ_r) in spherical coordinates.

	Measured angles	Number of geometries
Illumination angle θ_i	15°, 45°, 75°	3
Observation angle θ_r	0° - 75° with 5° steps	16
Illumination angle ϕ_i	0°	1
Observation angle ϕ_r	0°, 180°	2

Table 1: Measured geometries with the different illumination and observation angles applied in this research.

The measurements were done for varying illumination and observation angles (Figure 2, Table 1). Three illumination angles were chosen in combination with two times 16 observation angles resulting in 96 measured geometries. The used geometries are listed in Table 1 where a θ angle of 0° is perpendicular to the sample surface. The samples are six different oil paints which are applied on Leneta opacity charts (type 5C and 2A2), on microscope slides and canvas board. The colours of the paints are yellow (weld pigment), blue (indigo pigment), black (charcoal black) and green (mixture of yellow and blue).

3. Results

The results of the BRDF measurements show the spectral distribution of the BRDF indicating the reflected light per wavelength, this is also a measure for the colour of the paint. The spectra in Figure 3 show a clear difference between the BRDFs of paint applied on the black area of the opacity chart and the paint applied on the white area. The paint on the white area reflects more light. A glaze layer applied on top of black paint results in a lower BRDF compared to only the black paint for specific illumination and observation angles (Figure 4). This results in the glaze layer on top of black paint appearing darker compared to only the black paint.

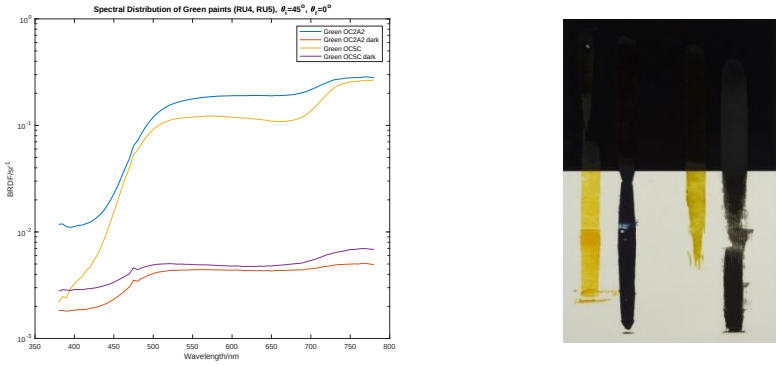


Figure 3: Left: Spectral distributions of BRDF for four different measurements. Green paints (mixtures of weld and indigo) on the black area (dark) and white area of both Leneta opacity charts. Right: Leneta opacity chart 5C with weld, indigo, green mixture of weld and indigo and charcoal black.

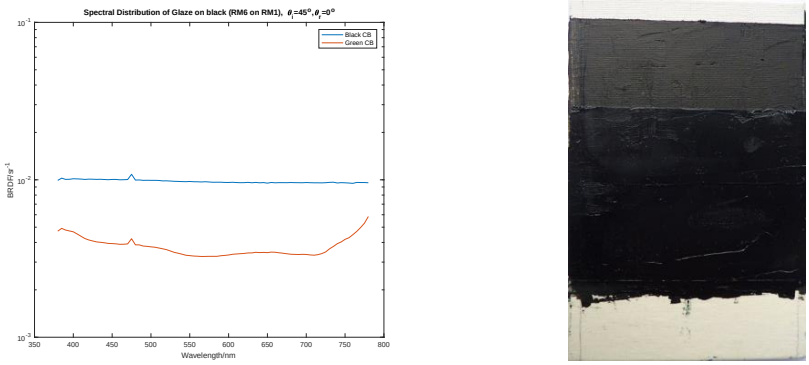


Figure 4: Left: Spectral distributions of BRDF for green glaze applied on black paint (red) and only black paint (blue). The glaze shows a lower BRDF value compared to the black paint indication larger appearance of the glaze. Right: Canvas board with on the top black paint and below that glaze applied on top of the black paint.

The angular distribution of the BRDF measurements for the three different illumination angles shown in Figure 5 is indicating a small specular element for most of the green paints. A higher specular is measured for the green paint applied on the black area of the opacity chart. The absence of a specular indicates a diffuse reflection.

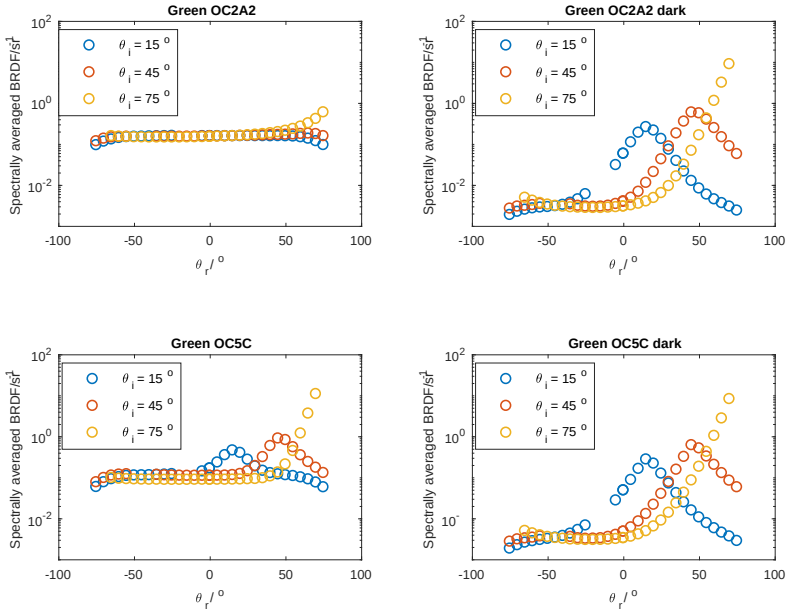


Figure 5: Angular distribution of BRDFs measured for green paint on opacity chart. Left the paint on the white area and right the paint applied on the black area. Measurements done for illumination angles of 15°, 45° and 75°.

CIELab data were retrieved from the BDRF measurements indicating the colours of the measured paint samples in the CIELab diagram. Interesting here is that the a* and b* values differ for the same paint applied on different substrates (Figure 6).

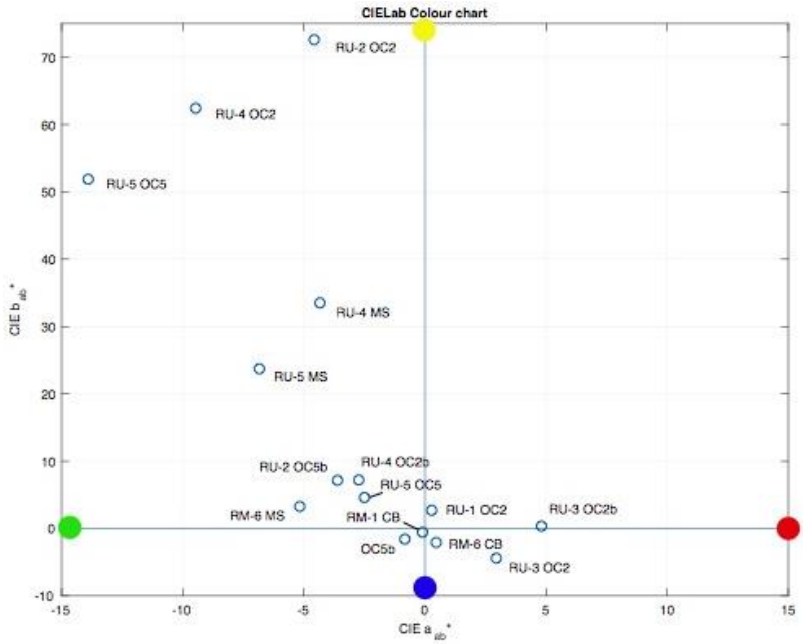


Figure 6: CIELab colour chart indicating the a* and b* values for each measured sample.

4. Discussion

In the results section it can be seen that the BRDF data shows differences in reflectance for different angles. Because isotropy of the painted surface was assumed, measurements were done with a limited amount of geometries and therefore in a relatively low resolution. The result is that the data is only valid for one plane within the half sphere. To test whether isotropy is a valid assumption, measurements should be done for more geometries.

The colorimetric data used to create the CIELab chart in Figure 6 shows that the surface on which the paint is applied influences the measured colour of the paint. The translucency of the paint and glaze could be the reason for the influence of the background. Next to the influence on the colour, the translucency also determines how the light is reflected due to the interaction of the paint with the light. BRDF measurements are a proper indication for the reflected light from the surface of a paint and glaze layer. BRDF measurements only give an indication of the reflected light from the surface of the paint layer. For that reason, BSSRDF (Bidirectional Scattering-Surface Reflectance Distribution Function) or BTDF (Bidirectional Transmittance Distribution Function) measurements could be an option for more accurate data on the behaviour of light underneath the surface of the paint.

5. Conclusion

BRDF measurements of oil paint samples and glazes give a clear indication of the reflection of light from the surface. A glaze layer applied on top of a black paint layer reflects less light in specific angles compared to only the black paint. This effect is clearly visible in the BRDF data which also indicates specular and more diffuse reflection from the paint samples. The measurements done give colorimetric data of the samples, showing differences in the colour of a same sample on different surfaces. Next to the influence of the background on the colour, the background influences the amount of reflected light as well. This could be an indication that the translucency of the paint and glaze influences how light interacts with the paint and therefore the reflection of light. In order to determine this effect, more measurements should be done, for example BTDF.

Acknowledgements
Abbie Vandivere (Mauritshuis) and Fahed Ibrahim (University of Amsterdam) for assistance with making the paint and glaze samples. This work is connected to the EMPIR 16NRM08 Project BiRD "Bidirectional reflectance definitions". The EMPIR is jointly funded by the EMPIR participating countries within EURAMET and the European Union. Alejandro Ferrero is also grateful to Comunidad de Madrid for funding the project SINFOTON-CM: S2013/MIT-2790.

Bibliography

[1] Rabal, A. M., Ferrero, A., Campos, J., Fontecha, J. L., Pons, A., Rubiño, A. M., & Corróns, A. (2012). Automatic gonio-spectrophotometer for the absolute measurement of the spectral BRDF at in- out-of-plane and retroreflection geometries. *Metrologia,49*(3), 213-223. doi:10.1088/0026-1394/49/3/213

[2] Ferrero, A., Campos, J., Rabal, A. M., Pons, A., Hernanz, M. L., & Corróns, A. (2011). Principal components analysis on the spectral bidirectional reflectance distribution function of ceramic colour standards. *Optics Express,19*(20), 19199. doi:10.1364/oe.19.019199

Defectos de visión de color: Herramientas de simulación para el aula y el laboratorio docente

María José Luque Cobija[1*], Dolores de Fez[2], Amparo Díez Ajenjo[1], María del Carmen García Domene[1], Pascual Capilla Perea[1]

[1]*Departamento de Óptica y Optometría y Ciencias de la Visión, Universidad de Valencia*

[2]*Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía, Universidad de Alicante*

1. Introducción

El estudio de los defectos congénitos y adquiridos de la visión de color se incluye, con distinto grado de detalle, en los planes de estudio del grado en Óptica y Optometría. Aunque los estudiantes suelen utilizar en las clases prácticas algunas pruebas de visión de color estándar, como láminas Ishihara o pruebas de ordenación (FM100h, Roth 28h o D15) [1], la efectividad del aprendizaje se verá limitado, especialmente en cuanto análisis de resultados, si no se dispone de pacientes con discromatopsia. En esta comunicación, revisaremos algunas de las estrategias que hemos desarrollado o adaptado, para intentar sacar más partido de la realización de estas pruebas y facilitar a los estudiantes la compresión de la visión de color variante.

2. Simulación de anomalías en pruebas de visón de color para ordenador.

En un monitor colorimétricamente caracterizado, podemos simular la visión de sujetos anómalos utilizando un modelo de visión de color, como el algoritmo del par correspondiente de Capilla y colaboradores [2]. Los ejemplos que mostramos en esta sección son aplicaciones [3,4], que hemos desarrollado para entorno Matlab basándonos en la librería de funciones COLORLAB [5], y que pueden compilarse para ser usados como programas independientes.

Esta estrategia es útil en el aula, para ilustrar el principio de funcionamiento de distintas pruebas, como el anomaloscopio (**Figura** 1) o las pruebas de ordenación (**Figura 2**). Por ejemplo, elegida la ecuación en la aplicación **Anomaloscopio** [4], el panel de **Simulación**, presenta, en tiempo real, cómo percibe el dicrómata elegido la referencia y la mezcla de los primarios de la ecuación. En la figura, se muestra que un deuteranope consigue igualar la referencia amarillenta usando tan sólo el primario verde.

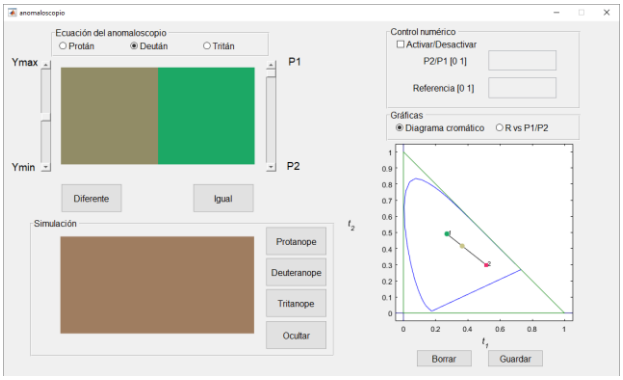


Figura 1: Interfaz de la aplicación **Anomaloscopio**.

Los resultados suelen ser lo bastante robustos como para usar las aplicaciones en monitores no calibrados, como hemos podido comprobar con nuestros estudiantes. En la **Figura 2b** mostramos los resultados obtenidos en la simulación de un sujeto deután por dos estudiantes, con dos ordenadores diferentes, utilizando la aplicación **D15simul** [4]. Las gráficas difieren en el número de cruces, tanto por

* *e-mail*: maria.j.luque@uv.es

los diferentes errores de reproducción de cada ordenador como por la sensibilidad del observador, pero, en ambos casos, los cruces se producen a lo largo de la dirección rojo-verde del espacio CIELab, en el que se representan los resultados, con una orientación es ligeramente distinta a la de un protán (no mostrado).

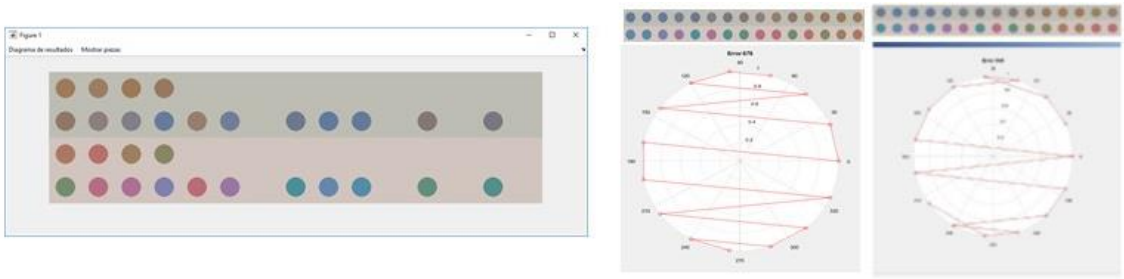


Figura 2: Interfaz de la aplicación **D15simul** y resultados de dos estudiantes para la simulación deután.

3. Uso de aplicaciones para teléfonos móviles

Por una vez, el que casi todos los estudiantes dispongan de un teléfono móvil juega a nuestro favor, ya que se dispone de diferentes aplicaciones que simulan la visión dicrómata en tiempo real [6]. Raramente bien documentadas, suelen basarse en el algoritmo de Brettel y colaboradores [7] y su limitación fundamental es no incorporar el perfil colorimétrico de la cámara y de la pantalla del móvil del usuario. Aun así, el tamaño de los efectos evita que el estudiante extraiga conclusiones incorrectas, aunque se correspondan más con un anómalo que con un dicrómata. Para evitar variaciones de luminosidad en la pantalla, cambios de color, fluctuaciones de enfoque y controlar el tamaño angular de los objetos, hay que deshabilitar el ahorro de energía de la pantalla –si es posible, tener conectado el móvil a la corriente- y utilizar un soporte que fije el ángulo de visualización y la distancia de observación.

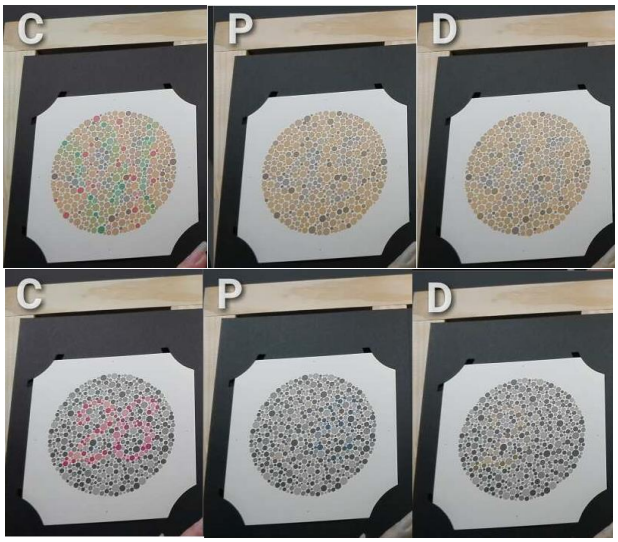


Figura 3: Simulación de la apariencia de las láminas 15 (arriba) y 16 (abajo) para sujetos normales (C), protan (P) y deután (D), usando CVSimulator [8].

La **Figura 3** simula cómo percibirían los defectivos rojo-verde las láminas 15 y 16 del test Ishihara, utilizando, como en los ejemplos restantes, la aplicación CVSimulator [8]. Puede verse que en la lámina 15 se predice correctamente que protanopes y deuteranopes perciben un número 45 donde los sujetos normales ven una figura amorfa, y que la lámina 16 distingue entre un protán (que percibe el 6) y un deután (que percibe el 2). También se discrimina entre protanes y deutanes en una prueba de ordenación, como se muestra en la **Figura 4**, con las pruebas D15 y Lanthony, aunque la reducción en campo visual inducida por el visor del móvil complica la realización de la tarea.

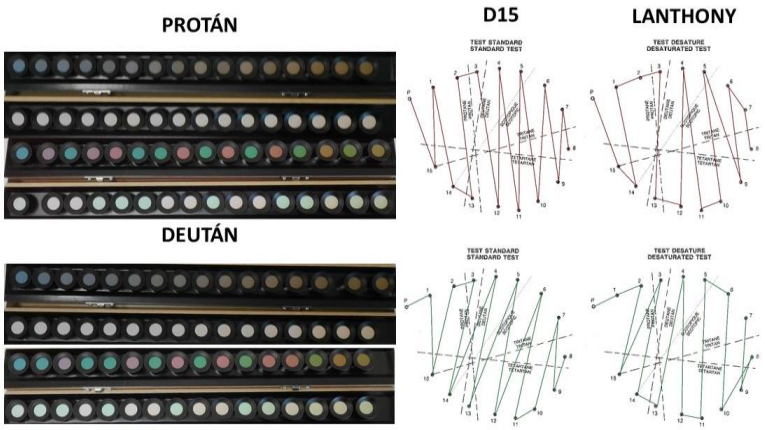


Figura 4: Resultados de los tests D15 y desaturado de Lanthony simulados con CVSimulator para un protán y un deután.

Cuando es crítico controlar la frecuencia espacial, como en la obtención de la función de sensibilidad al contraste cromático (FSCc), hay que asegurar que la imagen de estímulo en la pantalla del teléfono subtienda el mismo ángulo que visualizada directamente. El ejemplo de la **Figura 5** muestra que los pacientes con anomalías acromáticas pueden realizar la tarea mediante su mecanismo acromático (**Figura 5, izquierda)**, dando lugar a FSCs pasa-banda (**Figura 5 derecha**). También es evidente que la cámara puede introducir artefactos, al detectar el barrido del monitor como en la figura, o al producir moiré.

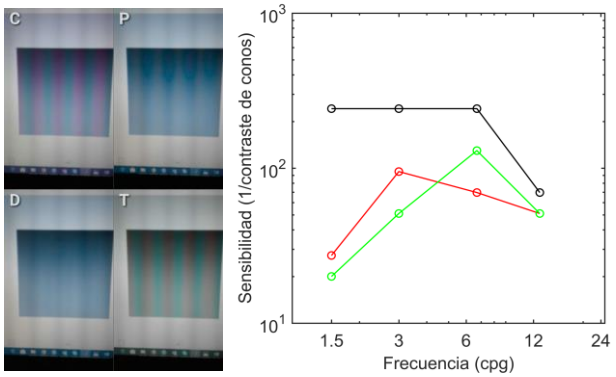


Figura 5: Izquierda, apariencia de una red sinusoidal rojo-verde para distintos dicrómatas. Derecha, FSCs rojo-verde, medidas con la aplicación **pCSF** [4], para un sujeto normal (negro) y visualizando las redes con el filtro protán (rojo) y deután (verde) de CVSimulator.

Las limitaciones de estos simuladores se aprecian en los umbrales cromáticos de la **Figura 6,** medidos con la aplicación **muc** [4]. CVSimulator predice correctamente un aumento del umbral en los sujetos dicrómatas, en la dirección rojo-verde para protán y deután y azul-amarillo para el tritán, pero los umbrales son los que se esperarían de un anómalo, no de un dicrómata, y la diferente orientación de las elipses protán y deután no es evidente.

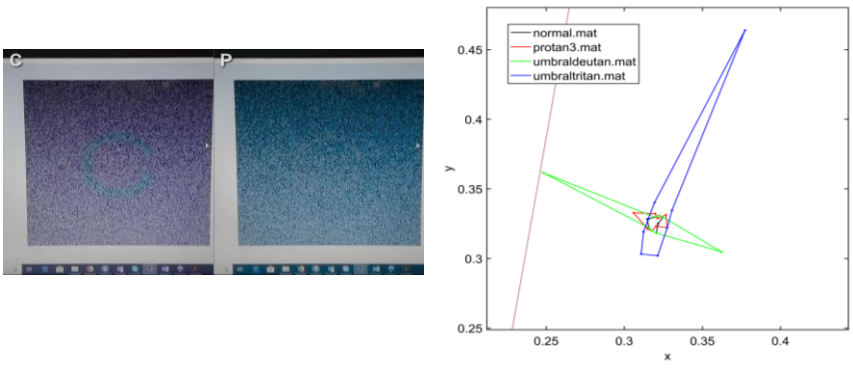


Figura 6: Umbrales cromáticos medidos con una tarea de reconocimiento. A la izquierda, estímulos vistos por un sujeto normal y un protán. A la derecha, umbrales de un sujeto normal (negro), protán (rojo), deután (verde) y tritán (azul).

4. Uso de filtros coloreados

Este procedimiento induce defectos mixtos de visión del color, similares a algunos defectos adquiridos, y permite simular defectos de aproximadamente el mismo tipo y distinto grado, sin más que aumentar las capas de filtro. Por ejemplo, un papel de celofán azul induce un defecto generalizado, que puede llegar hasta una monocromacia, pero que, en sus grados más leves, tiene una componente mayor en la dirección rojo-verde. El análisis del efecto de este tipo de filtros requiere de herramientas más sofisticadas de las que se explican normalmente a los estudiantes, como en el caso del FM100h (**Figura 6**), donde el procedimiento estándar (un diagrama de error con el criterio de Kinnear [1] en el ejemplo) sólo muestra un defecto generalizado, siendo necesario utilizar procedimientos específicos, como el de Robertson y Moreland [9], para determinar la región de mayor pérdida de discriminación en el espacio de color (rojo-verde en la figura).

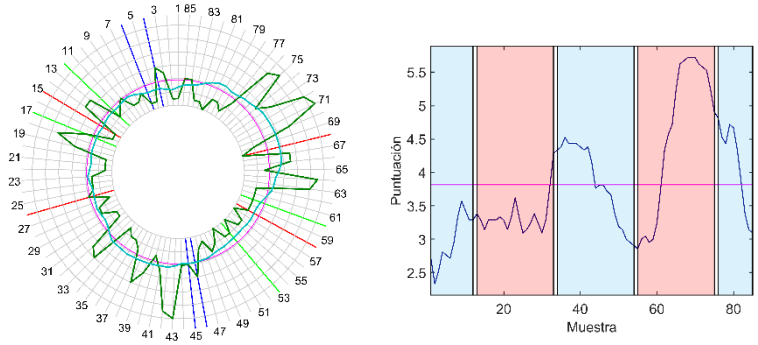


Figura 6: Resultados del FM100h para un sujeto normal con un filtro azul. Izquierda, criterios de Kinnear (verde) y Robertson y Moreland (turquesa). Derecha, diagrama de Robertson y Moreland, con las regiones correspondientes a cada mecanismo cromático. El procesado de los datos se ha realizado con la aplicación **fm100h** [4].

5. Conclusiones

Las experiencias descritas ayudan a los estudiantes a entender mejor la visión de color variante y a sacar más partido de la realización de pruebas de color. El procedimiento más controlable es la implementación de aplicaciones que permitan realizar medidas con estímulos que simulen las anomalías deseadas en monitores calibrados colorimétricamente, pero los efectos suelen ser suficientemente robustos como para sufrir sólo pequeñas distorsiones debidas a un calibrado erróneo, salvo en pruebas más precisas, como la medida de umbrales.

Bibliografía

[1] J. Birch, 'Diagnosis of Defective Colour Vision', Oxford [etc.], Butterworth-Heinemann, (2001).
[2] P. Capilla P, M.J. Luque MJ, M. A. Díez-Ajenjo. Looking for the dichromatic version of a colour vision model. J Opt A Pure Appl Opt 906-919 (2004).
[3] 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. Proc. ICERI2018, 9633-9639
[4] https://moodle2017-18.ua.es/formacion/enrol/index.php?id=85
[5] J. Malo y M.J. Luque, COLORLAB: The Matlab Toolbox for Colorimetry and Color Vision, http://isp.uv.es/code/visioncolor/colorlab.html, (Visitado 27-04-2019).
[6] A. Parra, M. J. Luque, Understanding dichromatic color vision: reliability of mobile phone simulation apps. SIYO 2018, Valencia.
[7] H. Brettel H, F. Viénot F, J. D. Mollon. Computerized simulation of color appearance for dichromats. J Opt Soc Am A 14:2647-2655 (1997)
[8] Asada, K. CVSimulator. http://asada.tukusi.ne.jp/cvsimulator/e/manual.html, (Visitado 27-04-2019).
[9] K.M. Robertson, J.D. Moreland, Study of familial retinitis pigmentosa sine pigmento combined with cystoid maculopathy, en: G. Verriest (Ed.), Colour Vision Deficiencies V, Hilger, Bristol, pp. 285–292 (1980)

Diseño de un test de sensibilidad al contraste cromático: del aula a la clínica

María José Luque Cobija[1*], Alfonso Plaza, Antoni Nebot, Lara Barquero, Nuria Claramonte, Noelia, Costa, Miriam García, Rocío Jamís, Javier López, María Martínez, Roser Negre, Noemí Pastor, Eva Pérez, Sara Prats, Marina Sales, Marta Tejera, Dimitry Yermolovych, Jorge Ibáñez, Dolores de Fez[2], Amparo Díez[1], María del Carmen García-Domene[1]

[1]*Departamento de Óptica y Optometría y Ciencias de la Visión, Universidad de Valencia*

[2]*Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía, Universidad de Alicante*

1. Introducción

Una de las dificultades de la enseñanza de materias relacionadas con la Visión del Color en el Grado en Óptica y Optometría (GOO) es conseguir que los estudiantes vean su aplicación práctica a su futuro trabajo como optometristas. Pocos gabinetes optométricos disponen de un dispositivo más sofisticado que un test Ishihara, lo que no ayuda mucho.

Un grupo de investigadores de las Universidades de Valencia y Alicante hemos desarrollado librerías [1] y aplicaciones [2] para Matlab que permitan generar, transformar y representar estímulos colorimétricamente controlados, realizar cálculos colorimétricos sencillos y trabajar con modelos de visión de color, con el objetivo de facilitar a nuestros estudiantes la comprensión de conceptos relacionados con la colorimetría y la visión del color. Estas herramientas son fácilmente aplicables al campo de la psicofísica clínica, para acercar los principios de diseño de pruebas para la detección de anomalías visuales a nuestros estudiantes del GOO, de manera práctica y crítica [3].

En esta comunicación, describimos un ejemplo de aplicación de este software al diseño de una prueba de medida de la función de sensibilidad al contraste cromático (FSCc). Esta actividad se realiza en colaboración con la Clínica Optométrica de la *Fundació Lluís Alcanyís-Universitat* de València, dentro de la asignatura *Métodos Psicofísicos para la Detección y el Seguimiento de Patologías Visuales*, optativa de 4º curso del GOO en la Universidad de Valencia. Durante las tres sesiones de 5 horas de las prácticas de la asignatura, los estudiantes diseñan y construyen un test y realizan medidas para detectar posibles fallos de diseño, obtener un patrón de normalidad y probar si se detectan anomalías extremas, reales o simuladas. Completada la etapa de diseño, los estudiantes evalúan un conjunto de pacientes, seleccionados por el personal de la Clínica y en las instalaciones de la misma, y comparan resultados con otras pruebas estándar.

2. Metodología

Dado el reducido número de estudiantes de la asignatura (18 como máximo), se trabaja en un único grupo, que debe coordinarse para decidir las características de la prueba a diseñar y repartirse las tareas. El papel del docente es moderar, resolver dudas y alertar de posibles fuentes de error.

Los estímulos se generaron con la aplicación **demo_estímuls** [2], basada en la librería COLORLAB [1]**,** usando monitores CRT y tarjetas gráficas de 8 bits, colorimétricamente controlados. Las decisiones sobre los estímulos, el método de medida y el análisis de resultados se basaron en los conocimientos previos de los estudiantes y en una búsqueda bibliográfica.

2.1 Tarea y Estímulos

En esta prueba de medida de la FSCc foveal, los estímulos son sinusoidales y aíslan las direcciones cardinales rojo-verde y azul-amarillo del espacio de color de Derrington, Krauskopf y Lennie, DKL, [4]. Se decidió que la tarea del paciente consistiese en reconocer la orientación del estímulo, indicando qué estímulo cromático tiene la misma orientación que un estímulo de referencia acromático, evitando así que

* *e-mail*: maria.j.luque@uv.es

el paciente deba verbalizar su respuesta (**Figura 1**). El número de estímulos cromáticos se eligió como un compromiso entre la necesidad de mantener una duración razonable de la prueba, de minimizar los efectos de acumulación y de reducir la probabilidad de aciertos al azar.

Si se anima a los estudiantes a generar estímulos de distintos tipos antes de tomar una decisión, verán que los umbrales de reconocimiento son mayores que los de detección, lo que sería una ventaja, dada la baja resolución de las tarjetas gráficas utilizadas para generar los estímulos, pero también un posible inconveniente, ya que algunos estímulos podrían no ser reconocibles incluso por la población normal.

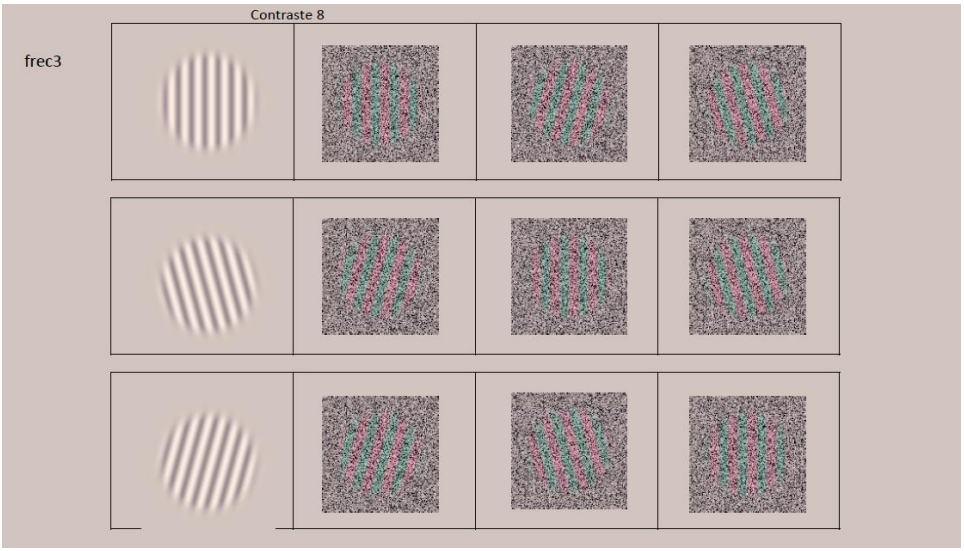


Figura 1: Lámina del test para la frecuencia 3 cpg del canal rojo-verde.

En la elección de los parámetros del estímulo, los estudiantes tuvieron que considerar las propiedades de los mecanismos cromáticos y acromático del sistema visual, las limitaciones impuestas por su sistema de generación de estímulos y la exigencia de que la tarea fuese fácil y relativamente rápida de realizar por el paciente. Por ejemplo, los estímulos constaban de un fondo acromático más una modulación sinusoidal en una de las direcciones cardinales cromáticas del espacio DKL. Luminancias del fondo elevadas minimizan intrusiones del mecanismo acromático [5], pero reducen el contraste máximo de los estímulos cromáticos generables, por lo que se exploró el rango de luminancias del dispositivo hasta encontrar un valor razonablemente elevado, que permitiera medir un umbral con los estímulos cromáticos de frecuencia alta. El software utilizado permite determinar, por métodos numéricos, el rango de colores generables en una dirección particular del espacio de color, como puede verse en la **Figura 2**. Los colores no generables en un estímulo en la dirección cardinal rojo-verde aparecen como puntos blancos en una ventana auxiliar.

Al comprobar durante las pruebas preliminares de diseño que la presencia de bordes, como los de una ventana circular o cuadrada, facilita al paciente el reconocimiento de la orientación de la red, se optó por estímulos en una ventana circular con bordes suavizados. El reducido rango de contrastes disponible no permitía utilizar estímulos de Gabor, que limitarían mejor el contenido frecuencial del estímulo.

Las frecuencias espaciales del test se eligieron considerando tres factores: 1) asegurar un número mínimo de ciclos en la imagen, 2) no superar la frecuencia de corte de los mecanismos cromáticos, 3) que el espaciado fuera logarítmico, en consonancia con el sintonizado en frecuencia de los mecanismos cromáticos [6-8]. Con esto, se eligió las frecuencias 0.75, 1.5, 3, 5 y 10 cpg. Las propiedades de sintonizado en ángulo de dichos mecanismos también determinaron las orientaciones de los estímulos (-15º, 0º y 15º)

El diseño debía evitar la intrusión de los mecanismos acromáticos. A ello contribuye la luminancia de fondo elegida (100 cd/m^2) y la rejilla presente en cada lámina (**Figura 1**), que ayudaría a saturar al mecanismo acromático de origen parvocelular [9]. La presencia de múltiples estímulos en la imagen minimiza la probabilidad de que las respuestas del canal acromático de origen magno, producidas por el cambio temporal de una lámina a la siguiente, sean una clave de reconocimiento de los estímulos.

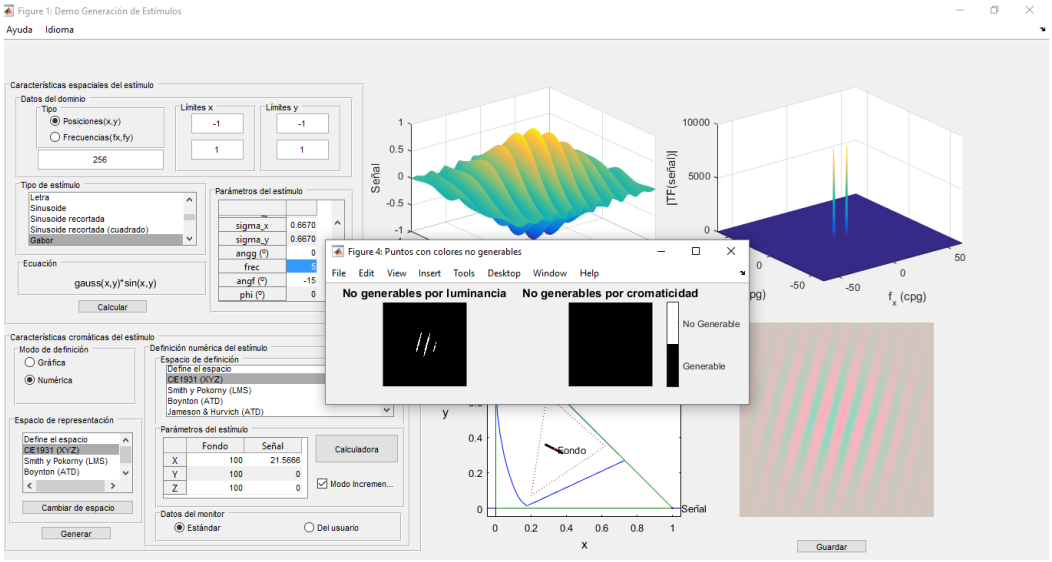


Figura 2: Interfaz de la aplicación **demo_estimuls**, mostrando la ventana auxiliar que indica si una imagen es generable.

El problema más grave es que las redes no son isoluminantes para todos los pacientes (**Figura 3)**. Para reducir la dificultad y la duración de la prueba para el paciente, y evitar tener que calcular estímulos personalizados, se decidió no determinar individualmente la condición de isoluminancia, sino minimizar la señal acromática con ruido acromático aleatorio (**Figuras 1 y 3**), como en los tests pseudoisocromáticos.

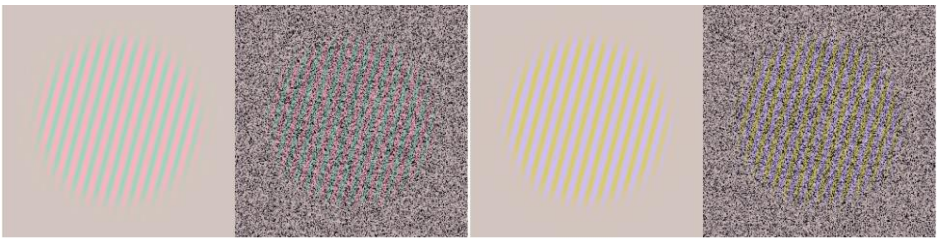


Figura 3: Redes de 10 cpg rojo-verde y azul-amarillo, con y sin ruido acromático.

Una vez decididas las características de los estímulos, se generó una librería con todas las imágenes necesarias. Para ello, se determinó el rango de amplitudes generable y la amplitud máxima no detectable por los sujetos normales, usando métodos de bisección. Dentro de este rango, se generó un conjunto de amplitudes, espaciadas logarítmicamente. Tras las medidas previas, se añadieron contrastes en la región en la que se encontraban los umbrales de los sujetos normales.

2.2 Método psicofísico

El umbral se determinó con un método de bisección. El intervalo de trabajo inicial lo forma el estímulo de amplitud máxima generable, con el que el paciente debería poder realizar la tarea propuesta, y el estímulo de contraste mínimo, con el que ningún sujeto con visión de color normal del grupo podría hacerla. Se muestra al paciente el estímulo cuya amplitud es el punto medio de este intervalo y a partir de su respuesta se define un nuevo límite superior o un nuevo límite inferior del intervalo de trabajo. El proceso continúa hasta que el intervalo no se pueda dividir. El umbral será el punto central del último intervalo de trabajo.

3. Resultados

La **Figura 4**-derecha muestra, en trazo discontinuo, los rangos de normalidad obtenidos con el grupo de estudiantes con visión del color normal. Las amplitudes del espacio DKL se han transformado en contrastes en el espacio de conos, para tener una métrica común para ambas FSCs. Las curvas son pasa-baja, con menor sensibilidad en el canal azul-amarillo, en acuerdo con la literatura [5]. En trazo continuo, se muestran las FSCs del ojo izquierdo de uno de los pacientes evaluados en la Clínica Optométrica, un varón de 63 años. Este paciente sufre un defecto de visión de color congénito, pero la edad y daños recientes

sufridos tras un desprendimiento de retina, hacían que en el test FM100h apareciera una pérdida generalizada de discriminación cromática (TES 236), mayor en la dirección rojo-verde (véase el diagrama de Robertson y Moreland, **Figura 4, izquierda**). A pesar del efecto esperable de la diferencia de edad entre patrón y paciente, los resultados de ambas pruebas son consistentes. Así, la prueba diseñada detecta la pérdida funcional de los canales cromáticos del paciente.

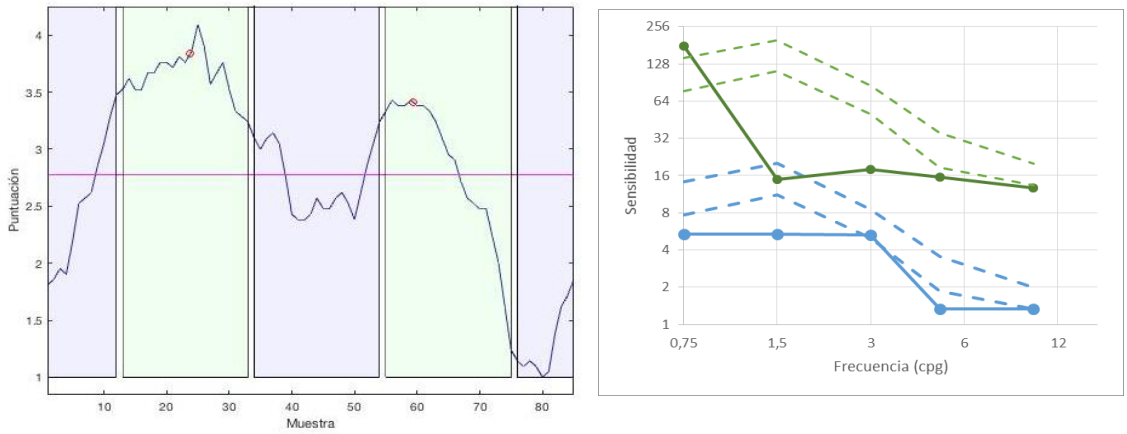


Figura 4: Resultados del test FM100h (izquierda) y medidas de las FSCs rojo-verde (verde) y azul-amarillo (azul) de un paciente. En trazo discontinuo, regiones de normalidad determinadas con pacientes jóvenes.

4. Conclusiones

El diseño de pruebas de diagnóstico clínico puede ser una buena herramienta para que los estudiantes integren conocimientos de múltiples asignaturas, reflexionen sobre los factores de distorsión de las pruebas clínicas (desde las intrusiones de mecanismos no deseados a efectos de aprendizaje y fatiga de los pacientes) y adquieran nuevos conocimientos (p.e., sobre calibrado de dispositivos). Los estudiantes, en general, han valorado positivamente la experiencia, particularmente el trabajo con pacientes reales, y realizado sugerencias para su mejora en cursos futuros.

Agradecimientos: Esta actividad ha sido posible gracias a la generosa colaboración del personal y los pacientes de la Clínica Optométrica de la Fundació Lluís Alcanyís –Universitat de València.

Bibliografía

[1] J. Malo & M.J. Luque. ColorLab: the Matlab toolbox for Colorimetry and Color Vision. Univ. Valencia 2002 http://isp.uv.es/code/visioncolor/colorlab.html
[2] M.J. Luque, D. de Fez Sáiz, M.C. García-Domene, M.A. Díez-Ajenjo, P. Capilla, Demo_estimuls, a tool for the design of color vision tests in the classroom. Proc. ICERI 2016 Conf., 7917-7926 (2016).
[3] M. J. Luque, D. de Fez, P. Capilla, A. Pons, A. Díez–Ajenjo, Learning clinical psychophysics by implementing clinical tests. Proc. ICERI 2015 Conf., 7646–7653 (2015).
[4] A.M. Derrington, J. Krauskopf, & P. Lennie, Chromatic Mechanisms in Lateral Geniculate Nucleus of Macaque. Journal of Physiology, 357, 241–265. (1984).
[5] M. Kalloniatis, R.S. Harwerth, Spectral sensitivity and adaptation characteristics of cone mechanisms under white-light adaptation. JOSA A. 7:1912–1928 (1990).
[6] M. A. Díez-Ajenjo, P. Capilla. Spatio-temporal Contrast Sensitivity in the Cardinal Directions of the Colour Space. A Review. Journal of Optometry. 3(1):2-19 (2010).
[7] M. A. Losada, K. T. Mullen. The spatial tuning of chromatic mechanisms identified by simultaneous masking. Vis Res 34(3):331–341 (1994).
[8] H. R. Wilson, D. K. McFarlane, G. C. Phillips, Spatial frequency tuning of orientation selective units estimated by oblique masking, Vis Res. 23 873–882 (1983).
[9] J. Pokorny, & V. C. Smith, Psychophysical signatures associated with magnocellular and parvocellular pathway contrast gain. JOSA A, 14:2477-2486, (1997).


dicsa
Distribuciones Industriales y Científicas S.L.
ciencia e innovación
CASTILLO DE CANENA
1780
PHOTON LINES
Soluciones ópticas
SPIE.
OSA
The Optical Society
100
Since 1916
SEDOPTICA
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ÓPTICA
AQ instruments
Universidad de Jaén
EPSL
Escuela Politécnica Superior de Linares