



IX
CONGRESO NACIONAL
DEL COLOR
ALICANTE 2010

ALICANTE, 29 Y 30 DE JUNIO,
1 Y 2 DE JULIO DE 2010
UNIVERSIDAD DE ALICANTE



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



SEDOPTICA
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ÓPTICA
COMITÉ ESPAÑOL DE COLOR

PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado por evaluadores ajenos a la Universidad de Alicante,
con el fin de garantizar la calidad científica del mismo.

Publicaciones de la Universidad de Alicante
Campus de San Vicente s/n
03690 San Vicente del Raspeig
Publicaciones@ua.es
<http://publicaciones.ua.es>
Teléfono: 965903480
Fax: 965909445

© Varios autores, 2010
© de la presente edición: Universidad de Alicante

ISBN: 978-84-9717-144-1

Diseño de portada: candelaInk

Reservados todos los derechos. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

El IX Congreso Nacional de Color cuenta con el apoyo de las siguientes entidades:



**IX CONGRESO NACIONAL DE COLOR
ALICANTE,
29 Y 30 DE JUNIO, 1 Y 2 DE JULIO
UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía
Facultad de Ciencias

Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías (IUFACyT)
Universidad de Alicante

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente	Francisco M. Martínez Verdú	<i>Universidad de Alicante</i>
Vicepresidente I	Eduardo Gilabert Pérez	<i>Universidad Politécnica de Valencia</i>
Vicepresidente II	Joaquín Campos Acosta	<i>IFA-CSIC</i>
Secretaria Científica	Esther Perales Romero	<i>Universidad de Alicante</i>
Secretaria Administrativa	Olimpia Mas Martínez	<i>Universidad de Alicante</i>
Secretaria Técnica	Sabrina Dal Pont	<i>Universidad de Alicante</i>
Tesorero	Valentín Viqueira Pérez	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Elísabet Chorro Calderón	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Verónica Marchante	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Bárbara Micó Vicent	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Elena Marchante	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Ernesto R. Baena Murillo	<i>Universidad de Alicante</i>

COMITÉ CIENTÍFICO

Natividad Alcón Gargallo	<i>Instituto de Óptica, Color e Imagen, AIDO</i>
Joaquín Campos Acosta	<i>Instituto de Física Aplicada CSIC</i>
Pascual Capilla Perea	<i>Universidad de Valencia</i>
Ángela García Codoner	<i>Universidad Politécnica de Valencia</i>
Eduardo Gilabert Pérez	<i>Universidad Politécnica de Valencia</i>
José M^a González Cuasante	<i>Universidad Complutense de Madrid</i>
Francisco José Heredia Mira	<i>Universidad de Sevilla</i>
Enrique Hita Villaverde	<i>Universidad de Granada</i>
Luis Jiménez del Barco Jaldo	<i>Universidad de Granada</i>
Julio Antonio Lillo Jover	<i>Universidad Complutense de Madrid</i>
Francisco M. Martínez Verdú	<i>Universidad de Alicante</i>
Manuel Melgosa Latorre	<i>Universidad de Granada</i>
Ángel Ignacio Negueruela	<i>Universidad de Zaragoza</i>
Susana Otero Belmar	<i>Instituto de Óptica, Color e Imagen, AIDO</i>
Jaume Pujol Ramo	<i>Universidad Politécnica de Cataluña</i>
Javier Romero Mora	<i>Universidad de Granada</i>
M^a Isabel Suero López	<i>Universidad de Extremadura</i>
Meritxell Vilaseca Ricart	<i>Universidad Politécnica de Cataluña</i>

CORRELACIÓN ENTRE VARIOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y LA VARIABILIDAD INDIVIDUAL EN LAS FUNCIONES DE IGUALACIÓN DEL COLOR

Pedro J. Pardo², Francisco L. Naranjo¹, Ángel Luis Pérez¹, María Isabel Suero¹

¹ Dpto. de Física, Universidad de Extremadura, Badajoz.

² Dpto. de Ing. de Sistemas Informáticos y Telemáticos, Universidad de Extremadura, Mérida
gruportion.unex.es, pjpardo@unex.es

Resumen:

Las diferencias individuales en la percepción del color y su relación con la variabilidad de ciertos parámetros fisiológicos como densidades ópticas de pigmento macular, de medios intraoculares y de fotopigmento o como la longitud de onda de máxima sensibilidad de los fotopigmentos de conos L y M es un tema abierto y objeto de investigación actualmente. Se presenta un trabajo en el que se han estudiado las correlaciones entre las longitudes de onda y las razones de energía empleadas en igualaciones azul-amarillo para obtener blanco y algunos de los parámetros fisiológicos antes citados.

Palabras clave: Óptica fisiológica, Visión del color, Diferencias individuales, Pickford-Lakowski, Moreland-Tredelenburg.

INTRODUCCIÓN

Dado que los valores triestímulo son un resultado de la interacción entre un estímulo físico y el sistema visual humano, podemos distinguir dos tipos de metamerismo: El metamerismo de iluminante, para un observador fijo pero con dos fuentes luminosas distintas iluminando la misma muestra, y el metamerismo de observador para una fuente luminosa fija y dos observadores distintos.

Desde un punto de vista fenomenológico, cada uno de esos observadores está caracterizado cromáticamente mediante las funciones de igualación del color CMFs que indican la cantidad que hay que emplear de cada uno de los primarios en una mezcla para conseguir una igualación, cantidades que presentan pequeñas diferencias entre observadores normales, pero muy grandes en el caso de los observadores defectivos. Estas diferencias se hacen perceptibles especialmente en ciertas igualaciones colorimétricas de estímulos espectrales como son la conocida igualación Rayleigh empleada ampliamente para la detección de deficiencias rojo/verde, y las igualaciones de Moreland-Tredelenburg para la detección de deficiencias azul/amarillo y Pickford-Lakowsky para estudiar el efecto de la edad en la visión del color. En todas estas igualaciones, se mantienen fijas las longitudes de onda de los estímulos espectrales empleados en la mezcla y solo se varía la razón de mezcla o el flujo luminoso de la referencia.

En los últimos años, la comunidad científica internacional está haciendo un esfuerzo por relacionar estas diferencias entre individuos, puestas de manifiesto mediante igualaciones metámeras [1,2], con variaciones que ocurren en varios factores fisiológicos como la densidad - óptica de medios intraoculares, la longitud de onda de máxima sensibilidad de los fotopigmentos de conos L y M, la razón de conos, etc. y que son las responsables en gran medida de estas diferencias entre observadores.

El objetivo de este trabajo es contribuir a la determinación de las curvas fundamentales de respuesta de cada observador individual, desarrollando un método para determinar las diferencias en la visión del color entre diversos observadores y su correlación con algunas de las variables fisiológicas antes aludidas. En concreto, usando dos igualaciones metámeras azul/amarillo para

dar un blanco de espectro continuo en ocho observadores no defectivos, pretendemos definir los valores de longitud de onda óptima, donde cada observador consigue la igualación para así mostrar las diferencias intra-(diferencia en longitud de onda de los estímulos espectrales azules escogidos para igualar los dos estímulos espectrales amarillos) e inter-observador. Con estas igualaciones obtenemos dos pares complementarios monocromáticos para cada uno de esos observadores dado un único blanco de referencia continuo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En un trabajo anterior [4] hemos definido las longitudes de onda óptimas donde cada observador logra la igualación metámera y hemos verificado que dichos valores difieren de los sugeridos por el observador patrón colorimétrico CIE1931 pero presentan todos una distancia espectral entre los dos picos escogidos por los observadores para las dos igualaciones de 8 nm.

Para comprobar que esas diferencias respecto al observador patrón colorimétrico, puestas de manifiesto experimentalmente, son compatibles con resultados experimentales previos, simulamos estas mismas igualaciones empleando como modelo matemático las once ternas de funciones de igualación de color obtenidas por Stiles & Burch en 1955 para campos de 2° obtenidos de la página web del Instituto de Oftalmología de Londres (www.cvrl.org). Se implementó un algoritmo en Visual Basic para Excel que realizaba todas las combinaciones de energía de los dos estímulos amarillo y azul espectrales, comprobando también para el rango de longitudes de onda de 450 a 500 nm en el caso del azul. Se obtuvieron los valores de energía de ambos picos espectrales más la longitud de onda del estímulo espectral azul que proporcionaban el error mínimo en cada igualación. Estos valores se pueden observar en la tabla 1 y tienen un rango entre 10.0 y 7.5 nm con un valor medio para los 11 observadores de 8.3 nm lo que concuerda con los valores experimentales obtenidos.

Tabla 1: Longitud de onda del azul obtenida de las funciones de igualación del color de Stiles & Burch para campos de 2°, para cada una de las igualaciones metámeras (FWMH 10nm) y su diferencia.

Obs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
λ_1 (nm)	481.5	482.5	482.5	482.0	477.5	485.0	481.0	481.5	484.0	482.5	481.5
λ_2 (nm)	491.0	490.5	490.5	488.5	487.0	492.5	489.5	491.5	491.5	490.5	490.0
$\Delta\lambda$ (nm)	9.5	8.0	8.0	6.5	9.5	7.5	8.5	10.0	7.5	8.0	8.5

Estas diferencias en la elección de la longitud de onda óptima para obtener la igualación metámera completa pueden deberse a diferencias individuales de varias variables fisiológicas como son la densidad óptica del pigmento macular, el amarilleo del cristalino, la longitud de onda de máxima sensibilidad de los ftopigmentos de cono L y/o M y las densidades ópticas de ftopigmento.

Para intentar esclarecer la dependencia de las variaciones de parámetros físicos debida a variaciones de parámetros fisiológicos modificamos el algoritmo de simulación de las igualaciones antes aludido introduciendo el modelo de generación de curvas fundamentales de respuesta publicado por la CIE en su publicación n° 170-1. Este modelo permite generar las curvas fundamentales de respuesta especificando los valores de densidad óptica de pigmento macular y de ftopigmentos, el amarilleo del cristalino a través de la edad y la longitud de onda de máxima sensibilidad de los ftopigmentos de conos L-M-S. Con todos estos valores se generan las curvas fundamentales de respuesta para cada observador normalizadas de tal manera que su valor máximo sea la unidad.

Para relacionar estas curvas fundamentales de respuesta LMS con las funciones de mezcla RGB como las obtenidas por Stiles & Burch debemos determinar una matriz de 3x3 cuyos coeficientes obtuvimos con las condiciones de contorno siguientes: Dado que las funciones de mezcla de S&B se obtuvieron empleando primarios de longitud de onda 444.44 nm, 525 nm y 640 nm, la función R debe presentar un cero para valores de 444 y 525 y un uno para 640. Análogamente para el caso de las funciones G y B alternando la longitud de onda que debe tener un valor unitario.

Con el modelo anterior se ha hecho un estudio de la repercusión de variaciones de los parámetros fisiológicos sobre la longitud de onda óptica de las dos igualaciones azul-amarillo para igualar un blanco continuo que estamos trabajando. El procedimiento ha sido el siguiente:

1. Se han generado las curvas fundamentales de respuesta normalizadas para unos valores de variables fisiológicas dados.
2. Se han obtenido los coeficiente de la matriz que nos permite transformar estas curvas fundamentales de respuesta en funciones de igualación RGB equivalentes a las obtenidas por S&B.
3. Se ha ejecutado el algoritmo de obtención de las energías óptimas de los estímulos espectrales amarillo y azul, así como la longitud de onda óptica para el estímulo azul para cada una de las dos igualaciones.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2. En ellos se puede observar cómo la variación de cualquiera de las variables fisiológicas contempladas en este estudio provoca una variación tanto en las longitudes de onda óptimas encontradas como en la distancia entre ambas longitudes de onda óptimas. Asimismo, los valores de energía de ambos estímulos espectrales fluctúan ante cambios en los parámetros fisiológicos, como era esperable.

A primera vista, estas variaciones no obedecen ninguna norma clara pero si realizamos un análisis de correlaciones podemos observar cómo existe una correlación clara (coeficiente de Pearson 0.928, con un nivel de significatividad de 0.01) entre el cociente de las energías de los estímulos espectrales de la igualación 1 (K_1) y la longitud de onda óptima escogida por los observadores. Igualmente aparece una correlación muy fuerte (coeficiente de Pearson 0.890) para K_2 y λ_2 . Ambas correlaciones lo único que nos indican es que la elección de la longitud de onda óptica determina la razón de energías necesarias para conseguir la igualación. Existe otra correlación muy fuerte (0.916) entre λ_1 y λ_2 , es decir, en todos los casos la distancia entre ambas longitudes de onda está ligada a la distancia fija de los estímulos espectrales amarillos, algo que se pone de manifiesto claramente en nuestros datos experimentales donde la $\Delta\lambda$ es prácticamente igual a 8 nm en todos los casos.

Además de las correlaciones anteriormente citadas, aparecen en el análisis estadístico de los datos de la simulación realizada, otras correlaciones menos claras en cuanto a su justificación pero que abren una nueva vía investigación. Existe una correlación (coeficiente de Pearson -0.888) entre el cociente de las razones de mezcla de ambas igualaciones K_1/K_2 y la densidad óptica de fotorpigmento de cono L y otra correlación (coeficiente de Pearson 0.788) entre $\Delta\lambda$ y la densidad óptica de fotorpigmento de cono M. Lógicamente, para dar validez a ambas correlaciones deben ponerse de manifiesto experimentalmente en alguna otra experiencia futura.

Tabla 2: Resultados de la simulación de dos igualaciones azul/amarillo con diferentes parámetros fisiológicos (en negrita el parámetro cambiado)

Observador	1	2	3	4	5	6	7	8	11	9	10
Edad	32	60	32	32	32	32	32	32	32	32	32
D.O. pig. macular	0.35	0.35	0.70	0.15	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
D.O. pig. cono L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D.O. pig. cono M	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.8	0.5	0.5	0.5
D.O. pig. cono S	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4
λ_{\max} cono L (nm)	558.9	558.9	558.9	558.9	558.9	558.9	558.9	558.9	558.9	557.0	561.0
λ_{\max} cono M (nm)	530.3	530.3	530.3	530.3	530.3	530.3	530.3	530.3	530.3	530.3	530.3
K_1	1.30	1.26	1.60	1.15	1.36	1.21	1.51	1.05	1.34	1.33	1.27
λ_1 (nm) (FWMH 10 nm)	482.8	484.1	487.3	480.4	483.3	482.0	485.1	479.0	481.8	483.1	482.6
K_2	1.99	2.02	2.47	1.71	1.87	2.16	2.21	1.69	2.05	1.99	1.99
λ_2 (nm) (FWMH 10 nm)	489.9	491.8	494.6	487.0	489.5	490.3	491.0	488.0	488.8	489.9	489.9
$\Delta\lambda$ (nm)	7.1	7.7	7.3	6.6	6.2	8.3	5.9	9	7.0	6.8	7.3

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados experimentales parece claro que existe una relación entre determinados parámetros fisiológicos habitualmente estudiados en este tipo de trabajos y las diferencias individuales puestas de manifiesto en igualaciones azul/amarillo. Sin embargo, este hecho debería ser corroborado experimentalmente o teóricamente, prescindiendo de las condiciones de normalización de las funciones de mezcla que posiblemente condicionan algunas de estas correlaciones.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Ciencia e Innovación por su ayuda FIS2006-06110. A la Junta de Extremadura por su ayuda GRU09018 financiada parcialmente por fondos FEDER de la Unión Europea.

REFERENCIAS

- [1] F. Viénot, L. Serreault, P.J. Pardo, "Convergence of experimental multiple Rayleigh matches to peak L- and M-photopigment sensitivity estimates". *Visual Neuroscience* 23, 419-427, (2006).
- [2] P.B.M.Thomas, J.D. Mollon, "Modelling the Rayleigh match" *Visual Neuroscience* 21, 477-482 (2004).
- [3] J.A. Diaz Navas, A. Chiron, F. Viénot, "Tracing a metameric match to individual variations of colour vision", *Color Research and Application* 23, 379-389 (1998).
- [4] M.I. Suero, F.L. Naranjo, P.J. Pardo, A.L. Pérez "Experimental study of the individual differences on chromatic perception through blue-yellow metameric matches of a white-light continuum", *20th Symposium of the International Color Vision Society*, pag 151(2009).