

DETECCIÓN DE DALTONISMOS TIPO PROTAN UTILIZANDO UN MONITOR DE TELEVISIÓN CONVENCIONAL

Julio Lillo, José Collado, Isaac Vitini, Elena Ponte y María Pilar Sánchez
Universidad Complutense de Madrid

Atendiendo a la importancia social de las limitaciones asociadas a los daltonismos, y con la finalidad de desarrollar un test capaz de combinar costos reducidos, facilidad en la aplicación y buen nivel predictivo; se utilizó un monitor de televisión convencional para realizar una serie de ajustes de luminancias en los que los observadores con anomalías tipo protán se diferenciaron consistentemente de los que las tenían de tipo deután y de las personas con visión del color normal. Estos dos últimos grupos, sin embargo, no pudieron diferenciarse mediante el procedimiento utilizado. Tras comentar algunas de las razones relacionadas con que pudiera ser así, se sugieren procedimientos para incrementar la potencia diagnóstica de la prueba.

The use of a conventional TV monitor to detect protan subjects. Bearing in mind the practical relevance of handicaps derived from color-blindness and with the aim of developing a test combining low-cost, good predictive power and easy administration, a conventional TV monitor was used in a luminance adjustment task, allowing to differentiate consistently protan subjects from deutatan and normal subjects, that in turn could not to be differentiated with this same procedure. After discussing some possible explanations for these results, some modifications and new developments are suggested that might increase the diagnostic power of the test.

En 1777 Huddart empleó cintas de colores para confeccionar lo que probablemente sea el primer test de percepción del color reconocido como tal (véase Fletcher y Voke, 1985). Tras él, una pléyade de investigadores han utilizado casi dos centenares de procedimientos diferentes con la misma finalidad (McLaren, 1966), aunque de ellos sólo se utilicen unos 20 actual-

mente. Las diferencias relativas en sensibilidad, fiabilidad y facilidad de aplicación han sido, sin duda, factores decisivos en esta selección.

La mayor parte de las pruebas clínicas relacionadas con la percepción del color se han centrado en la detección de las anomalías en el funcionamiento del mecanismo verde-rojo» a las que tradicionalmente se denomina como «daltonismos» (Hurvich, 1981; Lillo, 1993; Birch, 1993), lo que sin duda se debe a que estas son relativamente frecuentes (afectan en nuestro país al 5,3 % de los varones; Lillo, Sánchez, Collado, Ponte y García, 1997). La causa más co-

Correspondencia: Julio Lillo
Facultad de Psicología
Universidad Complutense de Madrid
Madrid (Spain)
E-mail: julillo@psi.ucm.es

mún de que se estas alteraciones es la existencia de disfuncionalidades en los conos. Más concretamente, puesto que el mecanismo basa su funcionamiento en la comparación del nivel de respuesta en los conos especialmente sensibles a las longitudes de onda largas («protoconos») con la existente en los que lo son a las medias («deutoconos»), su funcionalidad se ve inevitablemente afectada cuando existen problemas en uno de estos tipos de cono.

Dentro de las pruebas de evaluación de la visión del color, las basadas en el uso de láminas Pseudoisocromáticas son, como es bien conocido, las de uso más común. Este hecho se debe a que permiten combinar una alta sensibilidad en la detección, con la posibilidad de utilizarse en forma rápida y económica (Lillo, 1996). Por ejemplo, el popular test de Ishihara, cuya primera edición data de 1917 (Birch, 1993); puede completarse en unos cinco minutos, es relativamente económico, puede aplicarse por personal no especializado, en una amplia gama de condiciones de observación (véase, p.ej. Tuck y Long, 1986; 1990) y detecta incluso las anomalías del mecanismo «verde-rojo» de carácter mas leve. Este test, sin embargo y como los restantes basados en el empleo de láminas pseudoisocromáticas, no es plenamente fiable y puede llevar a errores importantes en el diagnóstico (véase, p.ej. Birch, 1993, cap. 7).

Los anomaloscopios tipo Nagel (véase Lillo, 1993, cap. 7; y Geri y Neri, 1988), se cuentan entre las pruebas más precisas para el diagnóstico de las alteraciones en la percepción del color. El que así sea se debe, entre otras razones, a que permiten un elevado control estimular. Por otra parte, su correcta utilización requiere períodos temporales relativamente prolongados, personal cualificado y condiciones ambientales muy concretas.

El desarrollo de la tecnología informática permite anticipar la aparición de pruebas ca-

paces de simultanear la facilidad de aplicación, sensibilidad y bajo coste característica de los tests de láminas pseudoisocromáticas, con la fiabilidad en el diagnóstico propia de los anomaloscopios. Tal objetivo, sin embargo, es más difícil de alcanzar de lo que pudiera parecer.

El principal problema tiene que ver con el sistema de producción de los colores utilizado por los monitores de los ordenadores. Como es bien conocido (véase p.ej. De Boeck, 1985, ó Travis, 1991), este se basa en la activación de tres tipos de elementos luminosos («violetas», «verde-amarillentos» y «rojo amarillentos») en diferentes proporciones. Tan reducido número de elementos-base, limita en gran medida las tareas que pueden realizarse. Por ejemplo, y puesto que una tarjeta gráfica SVGA permite, de acuerdo con la engañosa publicidad al uso, crear más de un millón de «colores» diferentes, ¿porque no seleccionar los más similares a los empleados en un anomaloscopio y, partiendo de ellos, pedir que se iguale el efecto producido por una luz «amarilla pura» mediante la adecuada combinación de «rojo» y «verde»? Esencialmente, porque lo que se percibe como amarillo en un monitor es ya un «amarillo mezcla» que físicamente es muy distinto al presentado por los anomalómetros y, por tanto, es literalmente imposible emular las estimulaciones utilizadas en éstos.

Aunque las confusiones cromáticas sean fundamentales para la efectividad diagnóstica de anomaloscopios y láminas pseudoisocromáticas, no constituyen el único aspecto de la percepción visual que se encuentra alterado en los daltónicos. Por ejemplo, y contra lo que podría parecer intuitivo, en ellos también se encuentran afectados los aspectos más cuantitativos de la respuesta visual que esencialmente dependen, en la nomenclatura popularizada por Hurvich (1981), de la actividad del mecanismo acromático.

La función de eficiencia espectral (« $V\lambda$ »; véase Pokorny y Smith, 1986 o Wyszecki y Stiles, 1982) es, además de la base de toda la fotometría, la forma más común de especificar como varía la magnitud de la respuesta del sistema visual en función de la longitud de onda. También ha sido uno de los instrumentos que más consistentemente ha mostrado la existencia de peculiaridades en las personas con alteraciones en la percepción del color (Pitt, 1935; Nelson, 1938; Hsia y Graham, 1957; Alpern y Torii, 1968 a y b; Heath, 1958; Smith y Pokorny, 1972; Kinnear, 1986; de Marco et al 1992). Aunque podrían efectuarse comentarios adicionales, creemos que son especialmente relevantes los siguientes:

1. Las personas con alteraciones tipo protán muestran un decremento en la capacidad de respuesta visual ante las longitudes de onda más largas. Tal hecho es el responsable de que sea frecuente indicar (véase, p.ej. Fletcher y Voke, 1985) que sufren o «una ceguera al rojo» o una «compresión en el rango visible» que se concreta en la porción larga del espectro. En términos más coloquiales: las personas con alteraciones de tipo protán, o no responden a las longitudes de onda más largas, o requieren para hacerlo de niveles estimulares excepcionalmente altos.

2. Las alteraciones en la respuesta acromática de los deutanes son de magnitud mucho menor que las correspondientes a los protanes y se dan en ambos extremos del espectro, de forma que en ellos *tiende* a aparecer una reducción en la sensibilidad ante las longitudes de onda corta y un incremento ante las largas.

Aunque es cierto que la completa determinación de la función de eficiencia espectral es la forma más precisa de especificar las características funcionales del mecanismo acromático, también lo es que

el tiempo preciso para su confección y el coste de los materiales requeridos, hacen inviable su utilización en el entorno clínico. En su lugar lo usual es seleccionar un número reducido de estimulaciones especialmente relevantes y, partiendo de la comparación de sus luminosidades relativas, deducir la existencia de alguna patología. De esta forma, por ejemplo, el test diseñado por Crone (1961), utiliza sólo dos tipos de estimulación (de 650 y 530 nm) para obtener lo que él denomina «cociente de luminosidad». En modo similar, el test «O.S.C.A.R.» (Estévez, 1983) reconvierte el procedimiento usualmente utilizado en la fotometría de fluctuación para hacerlo compatible con la alternancia de sólo dos estímulos: Un rojo metamérico a 650 nm, y un verde metamérico a 560 nm. Atendiendo a lo que se acaba de decir puede afirmarse que los dos siguientes aspectos asemejan la tarea empleada en nuestra investigación con las utilizadas en los tests de Crone y O.S.C.A.R.:

- (1) Se utilizaron sólo dos tipos de estimulación que se ubicaron en la porción verde-rojo del espectro.

- (2) Se requirió a los observadores la ejecución de ajustes basados en la luminosidad relativa de los dos tipos de elementos con independencia de los aspectos cromáticos que pudieran apreciar en ellos.

La figura 1 facilita comprender la naturaleza de la tarea utilizada en nuestra investigación. Como puede apreciarse, se presentó una retícula de elementos verticales y horizontales. Cuando estos eran percibidos con luminosidades semejantes, la retícula se experimentaba como una red de cuadrados (fig. 1 A). Cuando, por el contrario, la luminosidad de un tipo de elemento se experimentaba como mayor, la organización percibida derivaba de este predominio relativo y la retícula se veía como un conjunto de lí-

neas horizontales (fig. 1.B.) o verticales (fig. 1.C).

Nuestras hipótesis fueron las derivables de asumir una sensibilidad reducida para los protanes en el segmento rojo de espectro y una situación inversa en el caso de los deu-

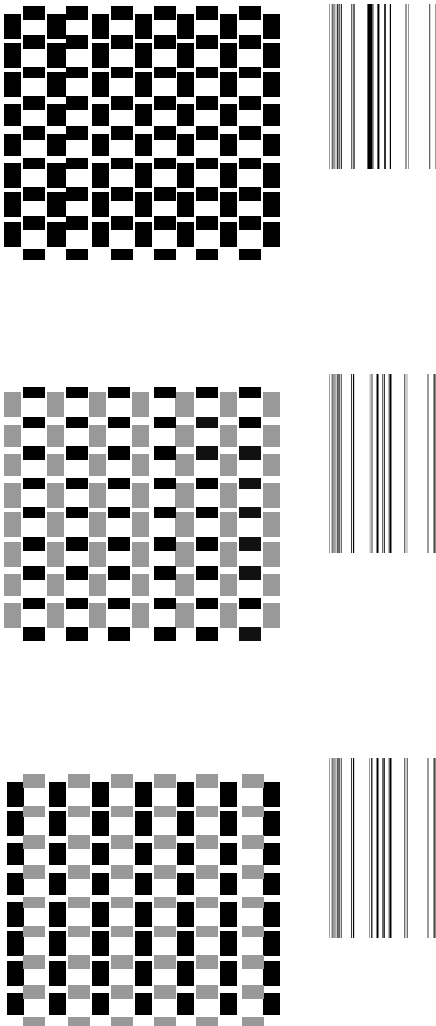


Figura 1. Tipo de estimulación presentada por el ordenador. (A) La semejanza en la intensidad de los elementos verticales y horizontales produce la percepción de una red de cuadrados. (B) Mayor importancia perceptiva de los elementos horizontales, (C) Mayor importancia de los elementos verticales

tanes. Más concretamente, se esperaba en los protanes una tendencia a utilizar un exceso de rojo en sus ajustes para compensar su menor capacidad de respuesta ante este tipo de estimulación. Se esperó un patrón opuesto (aunque de menor magnitud) en los deutanés.

En síntesis, nuestro objetivo fue el de desarrollar una tarea de fácil ejecución pero capaz de proporcionar resultados consistentes cara a diferenciar entre personas normales, protanes y deutanés. Esperamos que los ajustes efectuados por los protanes se diferencien de los normales en el sentido de utilizar mayores cantidades de rojo que de verde; esperamos también, aunque en menor grado, un patrón inverso para los sujetos deutanés.

Método

Sujetos y aparatos

Participaron 20 varones con edades comprendidas entre los 19 y 23 años, pertenecientes a una de las tres siguientes categorías: Visión del color *normal* (n=8). Alteración tipo *protán* (n=6). Alteración tipo *deután* (n=6). La procedencia de los observadores fue diversa, aunque todos ellos fueron estudiantes de alguna licenciatura en la Universidad Complutense de Madrid.

Previamente a la realización del experimento se evaluó la visión del color de los participantes mediante la aplicación de los tests de Ishihara y CUT (City University Test) y el uso de un anomaloscopio clínico. La aplicación del test CUT permitió comprobar la inexistencia de patologías trítan en los participantes.

La medición de la luminancia se efectuó mediante un luxofotómetro Gossen equipado con el accesorio adecuado. Tal aparato, además y con los correspondientes complementos, permitió comprobar la temperatura del color y la iluminancia durante la aplica-

ción de los tests CUT e Ishihara, así como la iluminancia base presente durante la realización del experimento. La comprobación de la estabilidad en la cromitanancia en el material cromático se efectuó mediante un lux-colorímetro Minolta xy-1.

La estimulación utilizada (Figura 1.) fue presentada mediante un monitor convencional de 14 pulgadas marca Philips conectada a un ordenador PC. Este último, además, registró y almacenó las respuestas de los sujetos.

Desde la distancia a la que se contemplo el monitor (1,5 m), los elementos rectangulares que componían la retícula proyectaban unas dimensiones angulares de 1,15 x 2,30 grados. Para la totalidad de la retícula fueron de 6,28 x 6,28 grados.

Las coordenadas CIE de los elementos verdes y rojos aparecen en la tabla 1. En ella también se indican las correspondientes a los blancos y amarillentos empleados durante la fase de aprendizaje.

<p style="text-align: center;"><i>Tabla 1</i></p> <p style="text-align: center;">Coordenadas colorimétricas de las estimulaciones utilizadas durante la fase de aprendizaje (amarillo y blanco) y el experimento (rojo y verde)</p>		
Denominación	Coordenadas CIE	
	x	y
Rojo	.61	.36
Verde	.31	.58
Amarillo	.37	.53
Blanco	.27	.33

Los ajustes de la intensidad de los elementos verticales y horizontales de la retícula se efectuaron mediante el empleo de un joystick convencional.

Procedimiento

Los observadores accedían a una cabina experimental cuyo nivel medio de iluminan-

cia era de 0,75 lux. Al tiempo que se efectuó un comentario general sobre la tarea a realizar, se dejó transcurrir un período de tiempo de unos 3 minutos para que los observadores adaptaran a tal nivel de iluminación. Tras ello, utilizaron un programa de entrenamiento con estimulaciones cromáticas distintas a las posteriormente empleadas en el experimento propiamente dicho. En concreto, una de las dos orientaciones (vertical u horizontal) fue amarillenta, mientras que la otra fue blanca. Tal programa permitió que se familiarizaran con el uso del Joystick y que observaran los cambios en la organización perceptiva en función del balance de luminancias presente en un momento determinado.

Tras el programa de aprendizaje empezó el experimento propiamente dicho. Este estuvo formado por 36 ensayos. En cada uno de ellos todos los elementos de la retícula de una orientación (vertical u horizontal) tuvieron el mismo color (verde o rojo) y una luminancia fija e igual a dos nits (1 nit = 1 cd/m²). Los elementos de la restante orientación se presentaron con el color alternativo (rojo o verde) y una luminancia que podía ser variada utilizando el joystick.

Tres fueron los tipos de ajustes efectuados. En el primero, «ajustes de *igualación*», la regulación debía efectuarse para igualar la intensidad con la que se percibían los elementos verticales y horizontales, de forma que la retícula se percibiera como semejante a una red de cuadrados. En el segundo, «ajustes de *duplicación*» la regulación debía conducir a que unos elementos se percibieran como «dobles en intensidad» a los otros; indicándose además, que en tal caso la organización percibida era la determinada por los elementos más luminosos («vertical u horizontal»). En el tercero, «ajustes a *la mitad*», la regulación de los elementos variables debía hacer que estos se percibiesen como «de intensidad igual a la mitad» de la poseída por los elementos fijos. También en

este caso se indicó que predominaría la orientación correspondiente a los elementos más intensos.

De los 36 ensayos efectuados 12 fueron de cada tipo («igualación», «duplicación», «a la mitad»). A fin de contrabalancear su presentación, fueron divididos en bloques de 4. En cada uno de estos bloques se presentaban, con luminancia fija, las cuatro posibilidades combinatorias resultantes de los dos colores y orientaciones (rojo vertical, rojo horizontal, verde vertical, verde horizontal). El orden de presentación de los bloques fue semialeatorio, impidiéndose la posibilidad de que dos del mismo tipo (p.ej. «de igualación») se presentaran consecutivamente.

RESULTADOS

Todos los análisis estadísticos efectuados fueron no paramétricos. El que así fuera se debió (1) al número de sujetos utilizados y (2) a que la variable dependiente utilizada, la luminancia, no da lugar a una escala de intervalo.

El dato básico a partir del cual se efectuaron todos los análisis fue la media de los ajustes efectuados por cada observador ante cada color en cada uno de los distintos tipos de ajuste. Más concretamente, para cada sujeto se obtuvieron las puntuaciones medias de los valores de verde y de rojo ajustados correspondientes a las tareas de «duplicación», «igualación» y «a la mitad», dando lugar a un total de 6 puntuaciones por observador.

La figura 2 muestra, para cada grupo de sujetos, las medianas de los valores ajustados en cada una de las tres tareas, tanto para cuando el color ajustado fue el rojo (a la izquierda) como cuando fue verde (a la derecha). Como puede observarse, en cualquier caso se observa un claro patrón descendente que indica que los niveles fueron máximos para la tarea de duplicación y mí-

nimos para la de ajuste a la mitad. Los resultados de sucesivos análisis de varianza de Friedman, recogidos en la tabla 2 y complementados por sus correspondientes pruebas de Wilcoxon, confirmaron plenamente esta primera impresión respecto a la variable *tipo de ajuste*, puesto que la jerarquía de valores expuesta (duplicación>igualación>a mitad), se dio para todos los observadores de todos los grupos y permitió alcanzar valores de 2^2 máximos.

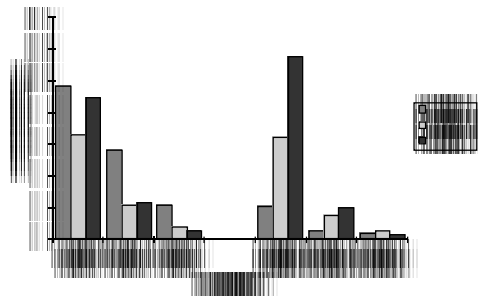


Figura 2. Medianas de las luminancias ajustadas en las tres tareas («duplicación», «igualación» y «a la mitad»), con los dos colores («rojo», a la izquierda; «verde», a la derecha) y para los tres grupos de observadores («protán», en negro; «normal» en blanco y «deután» en gris)

La comparación visual de las partes izquierda y derecha de la figura 2 sugiere cierta tendencia a ajustar mayores niveles de rojo que de verde, siendo este hecho claro en el caso de los protanes. La aplicación de sucesivas pruebas de Wilcoxon produjo los resultados que se recogen en la tabla 3 y que permitieron establecer los efectos relacionados con la variable *tipo de color ajustado*. Como puede comprobarse, aunque a nivel global existieron diferencias significativas en el sentido indicado, este efecto dependió con exclusividad de las respuestas de los protanes ya que, cuando se consideró el tipo de color en función del tipo de observador, fueron los protanes los únicos en los que las diferencias fueron significativas. Más aún, cuando se comparó la can-

tividad ajustada tanto en función del tipo de tarea como en el de tipo de observador, se comprobó la existencia de diferencias significativas para los protanes en los 3 tipos de ajustes y su ausencia en todos ellos para los restantes sujetos.

Las figuras 3, 4 y 5 muestran las medianas de los ajustes efectuados para, respectivamente, las tareas de duplicación, igualación y a mitad. En todas ellas, la comparación visual de los ajustes efectuados por protanes y normales permite apreciar la existencia de un claro patrón: los protanes utilizan mayores cantidades de rojo que los normales, y muestran un patrón opuesto cuando el color ajustado es el verde. En

clara contraposición, los deutanes no muestran un patrón estable, aunque sus puntuaciones tiendan a asemejarse a las del grupo normal.

Con el fin de evaluar la adecuación de las impresiones sugeridas por las figuras 3, 4 y

Tabla 2
Resultados de los análisis de Friedman correspondientes a la variable tipo de ajuste.
** Niveles de significación superiores al 1%.
* Niveles de significación superiores al 5%

Tipo de comparación	Nº de casos	χ^2	Significación
Global	40	80	0,000**
En función del TIPO DE PERSONA			
Normal	16	32	0,000**
Protan	12	24	0,000**
Deutan	12	24	0,000**
En función del COLOR AJUSTADO			
Rojo	20	40	0,000**
Verde	20	40	0,000**
En función TANTO del TIPO DE AJUSTE como de PERSONA			
Rojo en normal	8	16	0,0003**
Verde en normal	8	16	0,0003**
Rojo en protan	6	12	0,0025**
Verde en protan	6	12	0,0025**
Rojo en deutan	6	12	0,0025**
Verde en deutan	6	12	0,0025**

Tabla 3
Resultados de las pruebas de Wilcoxon para la variable tipo de color ajustado.
** Niveles de significación superiores al 1%.
* Niveles de significación superiores al 5%

Tipo de comparación	Nº de casos	Z	Nivel sig.
Global	60	-3,56	0,0004**
En función del TIPO DE PERSONA			
Normal	24	-1,06	0,29
Protan	18	-3,72	0,0002**
Deutan	18	-0,02	0,98
En función del TIPO DE TAREA			
Duplicación	20	-1,29	0,20
Igualación	20	-2,59	0,0095**
A mitad	20	-3,19	0,0014**
En función TANTO del TIPO DE TAREA como del de PERSONA			
Normal duplicación	8	-0,42	0,67
Normal igualación	8	-0,28	0,78
Normal a mitad	20	-3,19	0,0014**
Protan duplicación	6	-2,20	0,0277*
Protan igualación	6	-2,20	0,0277*
Protan a mitad	6	-2,20	0,0277*
Deutan duplicación	6	-0,73	0,46
Deutan igualación	6	-0,94	0,34
Deutan a mitad	6	-1,36	0,17

5 respecto a los efectos de la variable *tipo de observador* se realizó una serie de análisis de varianza de Kruskal-Wallis, cuyos resultados se resumen en la tabla IV, y que fueron seguidos, en su caso, de la correspondiente aplicación de las pruebas «U» de Man-Witney (tabla 5).

Los resultados de la tabla IV muestran, como era lógico esperar, la no aparición de

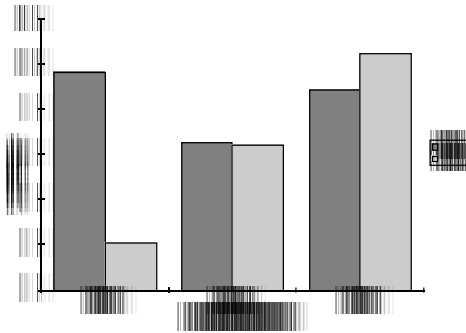


Figura 3. Tarea de duplicación. Medianas de las luminancias ajustadas por los tres grupos de observadores con cada uno de los colores

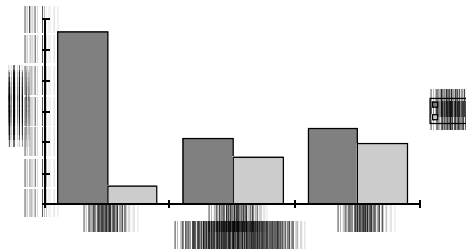


Figura 4. Tarea de igualación. Medianas de las luminancias ajustadas por los tres grupos de observadores con cada uno de los colores

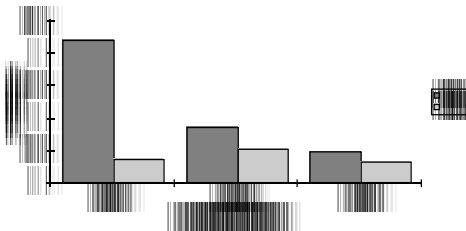


Figura 5. Tarea de ajuste « a mitad ». Medianas de las luminancias ajustadas por los tres grupos de observadores con cada uno de los colores

diferencias significativas en aquellos casos en los que se consideraban conjuntamente los ajustes efectuados con ambos tipos de color (comparaciones «global» y «en función de la tarea»). Por otra parte, si aparecieron diferencias «en función del color ajustado» para el caso de que este fuera rojo, en el sentido de que los protanes ajustaban mayores niveles que los normales ($U = 7$; $p = 0,032$) y que los deutanés ($U = 5$; $p = 0,012$). Esta tendencia se confirmó y amplió cuando comparación se hizo «tanto en función del color como de la tarea», pues entonces los Kruskal-Wallis aplicados indicaron la existencia de dife-

Tabla 4			
Resultados de los análisis de varianza de Kruskal-Wallis correspondientes a la variable tipo de persona. ** Niveles de significación superiores al 1%. * Niveles de significación superiores al 5%			
Tipo de comparación	Nº de casos	χ^2	Significación
Global	120	0,6063	0,74
En función del COLOR AJUSTADO			
Rojo	60	8,50	0,014*
Verde	60	4,74	0,09
En función de LA TAREA			
Duplicación	40	1,87	0,39
Igualación	40	5,93	0,052
A mitad	40	1,86	0,394
En función TANTO del COLOR AJUSTADO como de LA TAREA			
Doble rojo	20	6,57	0,037*
Igualación rojo	20	11,35	0,003**
Mitad rojo	20	6,27	0,04*
Doble verde	20	8,342	0,015*
Igualación verde	20	9,66	0,008**
Mitad verde	20	3,30	0,19

rencias significativas para el rojo en todas las tareas y para el verde en dos (doble e igualación). Las pruebas de «U» aplicadas (Tabla V) indicaron, con una sola excepción, que las múltiples diferencias significativas encontradas se debían a que los protanes ajustaban niveles de rojo superiores, y niveles de verde inferiores, que los otros dos grupos de observadores. La excepción fue que en la tarea de igualación con rojo, los deutanes utilizaron valores de rojo significativamente superiores a los normales.

Conclusiones

Aunque inicialmente resultara extraña para algunos observadores, la tarea de regular la intensidad para hacerla «igual», «doble» o «mitad» a una de referencia, se realizó con el suficiente grado de soltura como para justificar su utilización en tareas de evaluación clínica. En este sentido es importante recordar que el mejor indicador de la consistencia en los ajustes fue que, todos y cada uno de los participantes, mostraron en sus resultados la jerarquía «duplicación>igualación>a mitad».

Igualmente esperanzadores fueron los valores ajustados por los protanopes y que pueden resumirse de la manera siguiente: significativa tendencia a exagerar la utilización de rojo y, simétricamente, a reducir la de verde. Este patrón coincide plenamente con la relativa reducción en la sensibilidad que se da para este tipo de personas en el extremo largo del espectro y pudo haber sido más acentuado de no haber sido por el limitado rango de luminancias utilizables en el monitor de televisión. En términos más concretos, fueron cuatro los protanes que en la tarea de duplicación con rojo ajustaron a intensidad máxima (9,6 nits) e indicaron su deseo de utilizar un valor ligeramente superior a este.

En contraposición a los datos suministrados por los protanes, los correspondientes a los deutanes no coincidieron con las expectativas. Esto es, sus ajustes fueron similares a los de las personas con visión normal y, además, en el único caso en el que no fue así (igualación con rojo), el valor obtenido se separó del grupo normal en el sentido opuesto a lo esperado. En síntesis, la prueba se mostró poco útil para diferenciar entre deutanes y normales.

Uno de los factores que, en principio, podría relacionarse con la no obtención de diferencias entre deutanes y normales, fue la proximidad cromática de los estímulos utili-

<p><i>Tabla 5</i> Análisis con la «U» de Mann-Witney correspondientes a la variable tipo de persona. ** Niveles de significación superiores al 1%. * Niveles de significación superiores al 5%</p>			
Tipo de ajuste	Grupos comparados	U	Probab.
Duplicación rojo	PR VS NOR	6	0,032*
	PRO VS DE	10	0,120
	NOR VS DE	15	0,141
Igualación rojo	PR VS NOR	6	0,01**
	PRO VS DE	0	<0,001**
	NOR VS DE	10	0,041*
A mitad rojo	PR VS NOR	0	<0,001**
	PRO VS DE	7	0,047*
	NOR VS DE	19	0,287
Duplicación verde	PR VS NOR	5,5	<0,01**
	PRO VS DE	2	0,004**
	NOR VS DE	11,5	0,054
Igualación verde	PR VS NOR	10	0,041*
	PRO VS DE	2,5	<0,008**
	NOR VS DE	18	0,245

zados. Por ello, y porqué este aspecto puede modificarse en sucesivos trabajos, será considerado con algo de dedicación.

Entre los principales requisitos comerciales de un monitor convencional de televisión se encuentra el de permitir la obtención de amarillos con buenos niveles de saturación. Para que ello sea posible los elementos «rojos» y «verdes» tienen un claro componente amarillento y, por ello también, sus coordenadas cromáticas (véase tabla 1) dan lugar a longitudes de onda equivalentes (las metaméricas en matiz) a unos 550 (verde-amarillento) y 620 nm (rojo-amarillento). Tales valores, especialmente en el caso del verde, se encuentran más próximos al máximo de sensibilidad espectral de los deutanes de lo que sería deseable.

Si se desconocen las características colorimétricas de los monitores de televisión es fácil considerar fácilmente resoluble el problema que se acaba de exponer mediante la mera sustitución del verde empleado por otro cuya longitud de onda equivalente sea próxima a la parte del espectro donde es mayor la reducción relativa en sensibilidad

espectral de los deutanes. ¿Porqué no utilizar un verde con longitud equivalente a 500 nm?: Porqué tal estimulación se obtendría con una considerable pérdida de saturación, que dificultaría la obtención de diferencias en los ajustes (en términos físicos, se daría una expansión del rango de longitudes de onda en los que se acumularía energía).

Utilizar algún tipo de filtrado para lograr un desplazamiento de la longitud de onda equivalente sin perder saturación es una de las posibilidades que actualmente estamos considerando para incrementar la potencia diagnóstica de la tarea de ajuste de luminancias utilizada en esta investigación. Con esta misma finalidad estamos también estudiando el posible incremento en la capacidad predictiva que resulta de combinar los resultados obtenidos en esta tarea con los procedentes de otras distintas. Tal combinación de información sería semejante a la que normalmente se efectúa cuando se aplican baterías de tests cromáticos (véase, p.ej. Lillo et al. 1997) y, sin duda, podría producir una mejora en la capacidad de diagnóstico.

Referencias

- Alpern, M. & Torii, S. (1968 a). The luminosity curve of the protanomalous fovea. *Journal of General Physiology*. 52. 717-737.
- Alpern, M. & Torii, S. (1968 b). The luminosity curve of the deuteranomalous fovea. *Journal of General Physiology*. 52. 738-749.
- Birch, J. (1993). *Diagnosis of Defective Colour Vision*. Oxford. Oxford University Press.
- De Boeck, H. (1985). *Colorimetría Aplicada a la Televisión en Color*. Madrid. Instituto Oficial de Radio y Televisión.
- Cole, G.R; Hine, T; & McIlidaga, W. (1993). Detection of mechanisms in L-, M-, and S-cone contrast space. *Journal of the Optical Society of America*. 10. 38-51.
- Crone, R.A. (1961). Quantitative diagnosis of defective colour vision. *American Journal of Ophthalmology*. 51. 298-305.
- Estevez, O. (1983). *The O.S.C.A.R test*. London. Keeler Instruments.
- Fletcher, R. & Voke, J. (1985). *Defective Colour Vision*. Boston. Adam Hilger Ltd.
- Geri, G.A. & Neri, D.F. (1988). Validation of a solid-state anomaloscope used to assess red-green color vision defects. *Behavior and Research: Methods, Instruments and Computers*. 20. 27-31
- Hurvich, M. (1981). *Color Vision*. Sunderland. Massachusetts. Sinauer Associates.
- Heath, G.G. (1958). Luminosity curves of normal and dichromatic observers. *Science*. 128. 775-776.
- Hsia, Y; & Graham, C.H. (1957). Spectral luminosity curve of protanopic, deuteranopic and normal subjects. *Proceedings of the Academy of Sciences. USA*. 43. 1011-1019.

- Kinney, P.R. (1986). Spectral sensitivity for observers with protanomalous, extreme protanomalous and protanopic colour vision. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 6. 197-200.
- Lillo, J. (1993). *Psicología de la Percepción*. Madrid. Debate.
- Lillo, J. (1996). Manual del Test de Identificación de Daltonismos (TIDA). Madrid. TEA.
- Lillo, J; Collado, J.A; Del Valle, R; & Sánchez-López, M.P. (1995). Color, contraste y diseño ergonómico (I): La percepción del color. *Factores Humanos*. 9. 47-57.
- Lillo, J; Sánchez, P; Collado, J; Ponte, E; & García, C. (1997). TIDA: Un test infantil para evaluar las disfunciones en la percepción del color. *Psicología Educativa*. 3. 71-88.
- De Marco, P; Pokorny, J; Smith, V. C. (1992). Full-spectrum cone sensitivity functions for X-chromosome-linked anomalous trichromats. *Journal of the Optical Society of America*. 9. 1465-1476.
- Nelson, J.H. (1938). Anomalous trichromatism and its relation to normal trichromatism. *Proceedings of the Philosophical Society*. 50. 661-697.
- McLaren, K. (1966). *Defective color vision II: Its diagnosis*. *Journal of Society of Dyers Colour*. 82. 382-387.
- Pitt, F.H.G. (1935). Characteristics of dichromatic vision. *MRC Report. 14*. London. HMSO.
- Pokorny, J. & Smith, V.C. (1986). Colorimetry and color discrimination. En K.R. Boff; L.L. Kaufman y J.P. Thomas (EDS). *Handbook of Perception and Human Performance (vol. 1)*. New York. Wiley.
- Smith, V. C. & Pokorny, J; (1972). Spectral sensitivity of color-blind observers and the cone photopigments. *Vision Research*, 12. 2059-2071.
- Travis, D. (1991). *Effective Color Displays: Theory and Practice*. London. Academic Press.
- Tuck, J.P. & Long, G.M. (1986). On the interchangeability of standard plate tests for colour vision. *Ophthalmological and Physiological Optica*. 6. 345-347.
- Tuck, J.P. & Long, G.M. (1990). The role of small-field tritanopia in two measures of colour vision. *Ophthalmological and Physiological Optica*. 10. 195-199.
- Wyszecki, G; y Stiles, W.S. (1982). *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. (2ª De)*. New York. John Wiley & Sons.

Acceptado el 24 de noviembre de 1997

