

¿Qué pueden aportar las ciencias de la visión al diseño gráfico?

What Can Vision Sciences Contribute To Graphic Design?

**Vicent Sanchis Jurado y
Álvaro Pons Moreno**

Doctor en Optometría y Ciencias de la Visión. Profesor asociado del Departamento de Óptica, Optometría y Ciencias de la Visión de la Universitat de València
sanjuvi@uves

Desarrollador y consultor de accesibilidad web. Doctor en Física. Profesor titular del Departamento de Óptica, Optometría y Ciencias de la Visión de la Universitat de València
alvaro.pons@uves

Palabras clave

Sistema visual, percepción, psicofísica, visión del color, accesibilidad

Key words

Visual system, Perception, Psychophysics, Colour vision, Accessibility

El diseño gráfico es importante y necesario en el mundo de hoy porque la vista es la principal forma de adquisición de información. Por lo tanto, es lógico pensar que las ciencias de la visión pueden ayudar en la toma de decisiones a nivel de diseño. Comprender conceptos como la agudeza visual, la sensibilidad al contraste, entre otros, contribuirá a optimizar la legibilidad del texto a través de una selección óptima de parámetros tipográficos para formatos impresos y digitales. Además, entender el efecto de las diferentes alteraciones en la visión del color mejorará la accesibilidad del diseño.

Graphic design is important and necessary in the world nowadays because sight is the main way of information acquisition. Therefore, it is logical to think that vision sciences can help in decision making at the design level. Understanding concepts such as visual acuity, contrast sensitivity among others will contribute to optimizing the readability of text through an optimal selection of typographic parameters for printed and digital formats. In addition, the knowledge about the effect of the different colour vision deficiencies will improve the accessibility of the design.

Full text available online:

<http://www.polipapers.upv.es/index.php/EME/>

<https://doi.org/10.4995/eme.2020.13204>

Objetivos

El objetivo de este trabajo es hacer un repaso rápido de las principales características del proceso visual que están involucradas en el proceso de interpretación de elementos gráficos que genera el diseño gráfico.

Metodología

El presente trabajo se ha realizado mediante revisión bibliográfica, mediante cruces bibliográficos relacionados con el tema planteado. La temática desarrollada es fruto del trabajo experimental y docente que se desarrolla en el Grupo de Ciencias de la Visión y el Grupo de Investigación en Optometría del Departamento de Optometría y Ciencias de la Visión de la Universitat de València. La bibliografía consultada ha sido obtenida a partir de consultas en bases bibliográficas (SCOPUS, PubMed), utilizando preferentemente publicaciones de alto índice de impacto JCR.

Introducción

La visión es la principal vía de adquisición de información en la mayor parte de las personas. El aumento de las necesidades visuales por el uso de la visión de cerca e intermedia exigido por las tareas de lectura y laborales (Porcar, Pons y Lorente, 2016), sobre todo con el advenimiento del uso de ordenadores, implica una mayor atención a esas exigencias desde el campo del diseño gráfico. La utilización de elementos que deberán ser analizados por el proceso visual humano obliga a un mayor detenimiento en las posibilidades perceptuales del sistema visual humano, en tanto percepción de formas, detalles, contraste y color.

El proceso visual es el resultado de una compleja interacción que debe ser estudiada desde diferentes aproximaciones; anatómicas, psicofísicas, optométricas, neurofisiológicas, ópticas, psicológicas, etc. No se puede entender simplemente como un proceso de formación óptico de imágenes, labor que sería llevada a cabo por los elementos ópticos del ojo, sino como un proceso fisiológico y cognitivo que tiene con fin el análisis e interpretación de esa información óptica, transformada en imagen neuronal.

El inicio del procesado visual de imágenes se produce con la formación de imágenes por el ojo. El globo ocular puede ser considerado como un receptor del estímulo físico, la luz, y su función es producir un estímulo eléctrico que se propague a lo largo del nervio óptico y llegue a las diferentes áreas

del cerebro encargadas de su análisis donde tiene lugar la percepción. Está formado por una parte óptica (córnea, iris, cristalino y medios oculares), que enfoca la imagen sobre un sensor especializado, la retina (Benjamin 2006). La analogía con la cámara fotográfica (óptica + sensor) puede ser adecuada desde el punto de vista de una explicación sencilla, pero la complejidad anatómica y funcional del sistema supera con creces las del diseño óptico tradicional. Primero, por las características del sistema integrado de foco y limitación de luz (cristalino + iris), que trabaja de forma coordinada a partir de una compleja óptica basada en los sistemas GRIN (Navarro, Palos y González 2007). Segundo, el sistema de sensor, formado por diferentes capas donde la información codificada por los fotorreceptores se transduce en señales electroquímicas que deberán ser interpretadas por el cerebro.

A partir de ahí, las señales que llegan a las diferentes áreas asociadas del córtex visual inician un mecanismo de análisis e interpretación: en primer lugar, mediante la codificación de las señales en subelementos que pueden ser modelizados por la teoría de la señal, ya sea mediante el análisis de Fourier o el de las funciones de Gabor. En segundo lugar, por la interpretación cognitiva de estas señales. La psicofísica de la visión sería la disciplina encargada del estudio de esta etapa del procesado visual.

Ambas etapas, la óptica y la psicofísica, implican diferentes elementos claves en el desarrollo de un diseño gráfico: tamaño de letra, grosor de bordes de los elementos de un interfaz, paletas de colores... pueden ser optimizadas atendiendo a las características estudiadas y conocidas del sistema visual.

Factores que afectan a la tipografía

Como se ha indicado, la investigación psicofísica determina las capacidades del sistema visual y modela su comportamiento para diferentes tipos de estímulos permitiendo encontrar el rango de valores dentro de los cuales el funcionamiento de la visión es óptimo.

En el caso de la legibilidad de un texto y el uso de determinadas tipografías, debemos atender a un concepto clave: la agudeza visual (AV), definida como la capacidad del sistema visual de detectar detalles y está relacionada directamente con su resolución espacial. Existen diferentes formas y tareas para medir la AV de un ojo, pero la más popular es la identificación de letras con contraste máximo y tamaño decreciente (Artigas *et al.* 1995).

La AV representa el límite resolutorio del ojo cuando el contraste entre el objeto y su fondo es máximo, pero no todos los objetos se presentan

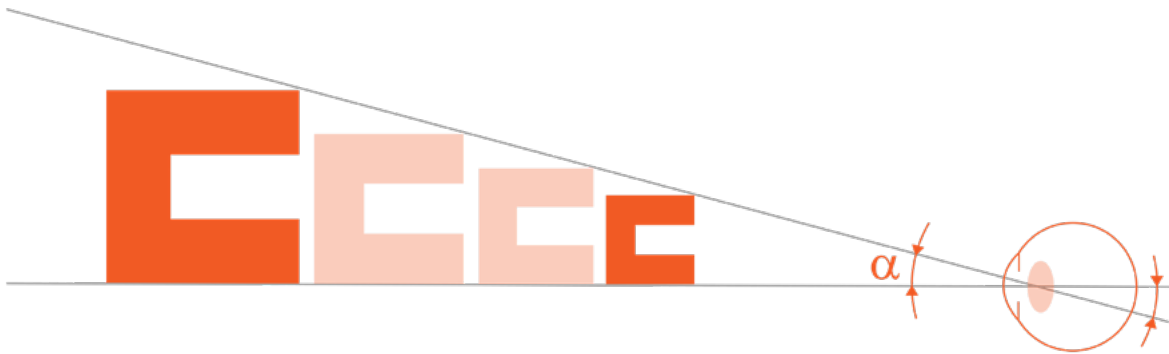


Figura 1 El tamaño angular es independiente de la distancia a la que se encuentra el objeto.

siempre en estas condiciones, por ello existe otra métrica llamada función de sensibilidad al contraste (FSC) que determina el contraste mínimo entre el objeto y el fondo que permite detectar al objeto independientemente del tamaño de este.

Estas formas de describir las capacidades resolutorias y de sensibilidad del sistema visual permiten predecir el funcionamiento de la vista en diferentes entornos y a la misma vez establecer una guía de requerimientos relacionados con la visión aplicables a diferentes y variados aspectos de nuestras vidas como podría ser los requisitos de agudeza visual mínima para obtener el permiso de conducir (Reglamento General de Conductores) o el contraste mínimo que debe tener un cartel de salida de emergencia (UNE 2009).

La lectura ha sido siempre de gran interés en las ciencias de la visión, ya que es la forma de obtener la información escrita. Mediante el uso de sistemas de seguimiento de mirada, como las cámaras de *eye-tracking*, se sabe que el proceso de lectura no es un escaneo de las letras que forman cada palabra sino un conjunto de saltos (movimiento sacádicos) y tiempos de fijación a lo largo de la frase (Legge *et al.* 1985A), incluso en idiomas con otros sistemas de escritura radicalmente diferentes como el japonés (Osaka 1992). Durante estas fijaciones el ojo captura la información alrededor del punto de fijación y determina la posición en el espacio del próximo punto en el que detenerse para continuar con la lectura de forma fluida. A la cantidad de letras alrededor del punto de fijación que podemos reconocer se le llama *visual span*.

La investigación psicofísica del proceso de lectura y los factores que le influyen es de gran valor para el diseño gráfico puesto que permite extraer una serie de conclusiones que se pueden aplicar directamente a la selección de tipografías, tamaños de letra, ancho de párrafos, *layout*, etc.

Los estudios de Legge y colaboradores han dado respuesta a varias de estas cuestiones, como puede ser el tamaño de letra ideal para la lectura de un diseño. Partiendo de un tamaño de letra grande se sabe que a medida que disminuimos el tamaño, la velocidad de lectura se va incrementando hasta llegar a un máximo a partir del cual la velocidad se mantiene prácticamente constante, para más tarde, a partir de cierto tamaño mínimo la velocidad de lectura cae en picado hasta llegar al límite en el cual es imposible identificar las letras y por tanto ya no se puede leer (Legge *et al.* 1985A). Es fácil deducir que el rango de tamaños de letra que permiten la máxima velocidad de lectura serán los de interés para el diseñador o diseñadora. Se puede calcular que los valores se encuentran entre 2 y 0,2 grados de ángulo subtendido desde el ojo del observador. En ciencias de la visión medimos los tamaños en función del ángulo que subtenden ya que de esta forma el tamaño no dependerá de la distancia a la que se encuentra el objeto tal y como se puede ver en la figura 1.

Este intervalo de tamaños, a unos 40 cm (que es la distancia a la que un adulto estándar sujeta el material de lectura), equivalen a 14 mm y 1,4 mm, respectivamente. De ahí surge una segunda cuestión, ¿qué debe medir entre 14 y 1,4 mm? La respuesta la volvemos a encontrar en la psicofísica: el diseño de un optotipo de AV se basa en cuadrículas de 5 por 5 unidades (figura 2), podríamos estar tentados a asumir que deberíamos de hablar del tamaño de las letras mayúsculas, pero para el texto corrido se usan las letras de caja baja. Como aproximación Legge y Bigelow proponen aplicar este tamaño a la altura de *x*, una medida bien conocida por el tipógrafo (Legge y Bigelow 2011). Este resultado es interesante ya que coincide con las recomendaciones hechas por investigadores de finales del XIX y principios del XX respecto a las causas de la fatiga durante la lectura (Bigelow 2019).

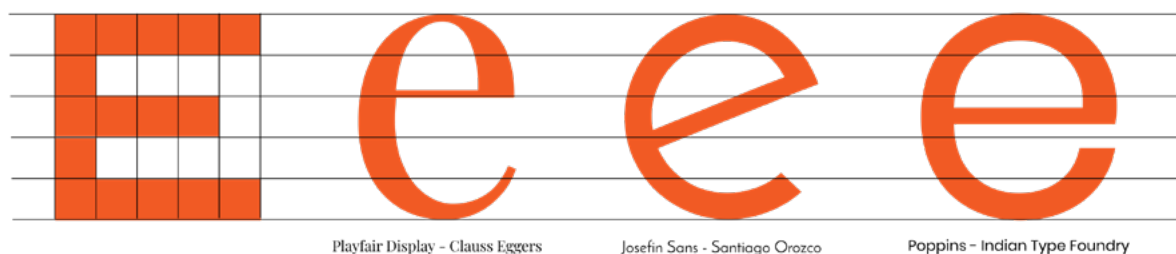


Figura 2 Cuadrícula sobre la que se diseña un optotipo de agudeza visual y su equivalencia con las letras de caja baja

Estos resultados se obtienen de forma análoga a la AV, es decir, con contraste máximo: letra negra sobre fondo blanco. Sin embargo, estos resultados no se mantienen más allá del contraste máximo. Si bien desde los años 30 ya se sospechaba que el contraste podía ser un parámetro determinante en la velocidad de lectura, su verdadera interacción con el tamaño de letra no fue determinada hasta 1987 (Legge *et al.* 1987). La velocidad de lectura se ve poco afectada por el contraste siempre que este se mantenga por encima del 0,1 siguiendo la definición de contraste de Michelson (Legge *et al.* 1987, Legge *et al.* 1990, Peli 1990).

Una cuestión íntimamente relacionada con el contraste es la polaridad de este, es decir, ¿letra oscura sobre fondo claro o letra clara sobre fondo oscuro? Actualmente está muy de moda ofrecer interfaces con un tema claro y otro oscuro, o lo que sería más correcto, con polaridad positiva o polaridad negativa respectivamente. La literatura al respecto es muy variada y, como es de esperar, muestra conclusiones diferentes. Cierto es que tradicionalmente estamos habituados a trabajar con polaridades de contraste positivas en el mundo real y en la mayor parte de las interfaces gráficas con las que interactuamos (papel blanco, hoja del procesador de textos blanca, etc.). También hay que tener en cuenta que trabajar con interfaces con polaridad negativa implica una luminancia general menor y por tanto una menor AV (Sheedy, Bailey, Raasch 1984, Artigas *et al.* 1995, Pointer 2001). Tampoco serían descartables otros efectos ópticos debidos a una respuesta impulsional del sistema alejada de la ideal (disco de Airy) (Navarro y Losada 1997), además de otros efectos directamente afectados por el diámetro de la pupila como son la influencia de las aberraciones ópticas y la profundidad de campo (Piepenbrock *et al.* 2013). Para un observador con visión normal la polaridad del contraste tiene poca

importancia en su visión en la mayoría de las posibles situaciones (siempre que el nivel de iluminación a nivel retiniano sea equivalente), en cambio para observadores con baja visión esta polaridad puede ser crucial en función de la limitación en la visión que presenten y su causa (Sloan 1977, Legge *et al.* 1985b).

Hasta este punto hemos considerado los factores llamados extrínsecos a la tipografía que influyen en la legibilidad del texto, a excepción del color que desarrollaremos más adelante. Por otra parte, existen los factores intrínsecos como son el tipo de caja, peso, anchura del carácter, remates, formas, etc. Aunque se distinguen dos grupos de factores que afectan a la legibilidad del tipo todos hacen referencia a características físicas, y por tanto mesurables, siendo susceptibles de estudiarse utilizando metodología psicofísica. En un resumen muy general, ya que revisar los resultados del conocimiento sobre estos temas están mucho más allá del objetivo de este artículo, son: los pesos altos ofrecen mejor visibilidad mientras que los medios facilitan la legibilidad, las fuentes de ancho variable se leen mejor en tamaños grandes mientras que las de ancho fijo proporcionan ventaja en tamaños pequeños. Respecto a las serifas se encuentran diferentes conclusiones en la literatura, probablemente atribuibles a la dificultad para encontrar dos fuentes que difieran exclusivamente por la presencia de los remates en el momento en el que se realizaron las investigaciones. A principios del siglo XX los estudios indicaban que las fuentes *sans serif* ralentizaban la lectura (Paterson y Tinker 1932). A medida que va avanzando el siglo aparecen estudios en los que no se encuentran diferencias en la velocidad pero los propios participantes indican su predilección por las fuentes *serif* (Tinker 1963), esto puede implicar la existencia de un sesgo a favor de las fuentes *serif* ya que en estudios más recientes no se encuentran

diferencias en la velocidad de lectura (Arditi y Cho 2005) y los participantes están más acostumbrados a fuentes *sans serif* pues son las de uso en la mayoría de interfaces gráficas.

Un posible aspecto a tener en cuenta en futuras investigaciones es el análisis frecuencial de la forma. Mediante el uso de la Transformada de Fourier podemos descomponer cualquier trazo en un sumatorio de ondas sinusoidales que nos permite detectar las frecuencias y orientaciones que predominan en dicha forma. Esta descomposición es de especial interés ya que ciertas neuronas del sistema visual están sintonizadas, son más sensibles, a determinadas frecuencias espaciales en un rango estrecho de orientaciones (Hubel y Wiesel 1959), existiendo más neuronas sintonizadas a orientaciones verticales y horizontales (Berkley, Kitterle y Watkins 1975).

Las especificidades del diseño en entornos digitales

La irrupción de la informática y las redes de comunicación en todos los aspectos de nuestras vidas suponen nuevos retos tanto para el diseño gráfico como para las ciencias de la visión. Nuevas tecnologías, nuevos dispositivos, nuevas formas de comunicación nos rodean las 24 horas del día y plantean dudas científicas y técnicas sobre la mejor forma de aplicar las buenas prácticas al mundo digital y de paso generar nuevas guías para mejorar la usabilidad y garantizar la accesibilidad del contenido. La absoluta incertidumbre respecto a las prestaciones técnicas del dispositivo que utiliza el usuario se ha incrementado notablemente con la popularidad de los teléfonos inteligentes y las tabletas ya que introducen mayor diversidad de dispositivos conectados a la red y posibles casos de uso. Tradicionalmente el ordenador se utilizaba en contextos bastante delimitados, en interior bajo iluminación artificial y en una postura habitual en usuarios de oficina, actualmente no podemos asumir que se cumplan todas estas características respecto al contexto en el que se accede al contenido digital.

La pluralidad de tecnologías y características de las pantallas que utilizamos es enorme. Ya han quedado atrás los tubos de rayos catódicos eclipsados por las pantallas de tipo TFT. No obstante, existen diferentes tecnologías dentro de las pantallas TFT que nos llevan nuevamente a una gran variedad de productos que se diferencian en sus capacidades técnicas de resolución, luminancia máxima, contraste, reproducción de color, velocidad de

refresco, ángulos de visión, curvatura, flexibilidad, etc. Esta variabilidad genera inseguridad a la hora de tomar decisiones cruciales para el diseño a nivel gráfico del contenido.

Pese a que existen estándares y modelos para la calibración de las pantallas su uso se ciñe a entornos profesionales donde se necesita la máxima fidelidad en la reproducción del color (Sharma 2002). La mayoría de los usuarios no entiende la necesidad de esa fidelidad en los colores que están viendo y suelen dar más valor a la saturación y la profundidad de los negros típica de los videos promocionales. Otros usuarios tal vez tengan activado algún modo de aumento del contraste de la imagen, o todo lo contrario, suavizado de los tonos simulando una pantalla de cine. Por tanto, hay que asumir que en cada dispositivo, con su configuración individualizada, se van a presentar colores similares pero colorimétricamente diferentes.

La digitalización en el mundo de la tipografía ha traído la especificación de las formas mediante gráficos vectoriales evitando la necesidad de generar todo un juego de caracteres para cada tamaño de fuente como se hacía originalmente. Pese a que los gráficos vectoriales permiten escalar a cualquier tamaño sin pérdida de calidad la rasterización, el paso de la forma al conjunto de píxeles de la pantalla (o de la impresión), puede suponer una alteración de la curva y potencialmente una pérdida en la definición del tipo en tamaños de cuerpo pequeños y/o dispositivos con baja resolución espacial. Una de las primeras consecuencias es la aparición de bordes de sierra en los trazos que no sean perfectamente verticales u horizontales. Para solucionar este efecto no deseado surgen técnicas de suavizado de contornos utilizando subpíxeles adyacentes al trazo como *ClearType* (Sheedy 2008). La efectividad de estos suavizados depende de la estructura de los subpíxeles de la pantalla. Como en el mercado existen pantallas que no usan los tradicionales píxeles rectangulares RGB (Elliott *et al.* 2003) es virtualmente imposible emitir recomendaciones específicas al respecto.

Todas las conclusiones desarrolladas para el uso de tipografías en el diseño gráfico sobre papel, son válidas para el diseño digital, con la única adaptación de los valores de luminancia utilizados.

Por último, resaltar que, aunque no es un factor que afecte directamente al diseño, hay una duda que ha ido *in crescendo* ha sido el posible efecto dañino de la luz que emiten las pantallas. Prueba de ello es la numerosa literatura científica al respecto y la aparición de productos y funcionalidades en los

diferentes sistemas operativos para disminuir la emisión de dicha luz. Sin embargo, la mayoría de los trabajos publicados apuntan a la no existencia de efecto fototóxico sobre la retina y la poca eficiencia de los filtros, que no aportan ningún beneficio utilizarlos más allá de alterar la percepción de los colores (Henderson y Grimes 2010, Downie, Busija y Kelle 2018).

Influencia del color en el diseño: consideraciones desde la fisiología de la visión humana

El color es la percepción que generamos para una propiedad particular de la luz, la energía, que es caracterizada por la longitud de onda. El color es una sensación producida por la interpretación de la energía que llega a los diferentes fotorreceptores, y utilizada eficazmente como codificación de información de nuestro entorno (Kremers, Baraas y Marshall 2016). Uno de los principales problemas del uso y reproducción de color es la correcta definición y medida del mismo. Si bien en diseño gráfico es habitual el uso de sistemas de catalogación del color (Munsell, RAL o PANTONE), estos sistemas no permiten una reproductibilidad real del color desasociada de los catálogos impresos de comparación, sujetos a procesos de degeneración y pérdida de validez con el tiempo.

Desde las ciencias de la visión se han buscado mecanismos que permitan esta medida y reproductibilidad exacta, basada en las características perceptuales del sistema visual humano. Fruto de estos sistemas son los espacios de color, siendo los más conocidos los elaborados y estandarizados desde la *Comission Internationale de l'Eclairage* (CIE). Estos sistemas se basan en cómo codifica la energía proveniente de un objeto en forma de radiación electromagnética la retina humana, considerando las bandas de absorción de los pigmentos de los conos de la retina. El sistema más conocido y utilizado en ciencias de la visión es el espacio de cromaticidad CIE XYZ de 1931. En la figura 3 se representa la ordenación de colores percibidos en función de las coordenadas cromáticas x,y, una forma de representación conocida informalmente como la "lengua de color". En esta representación el punto central se corresponde con el estímulo acromático, la luz blanca, y la periferia con los colores espectrales, es decir, con los colores más puros, monocromáticos, formados por una única longitud de onda. La recta que une el color azul de 380 nm con el rojo de 700 nm es denominada "recta de los púrpuras" y representa

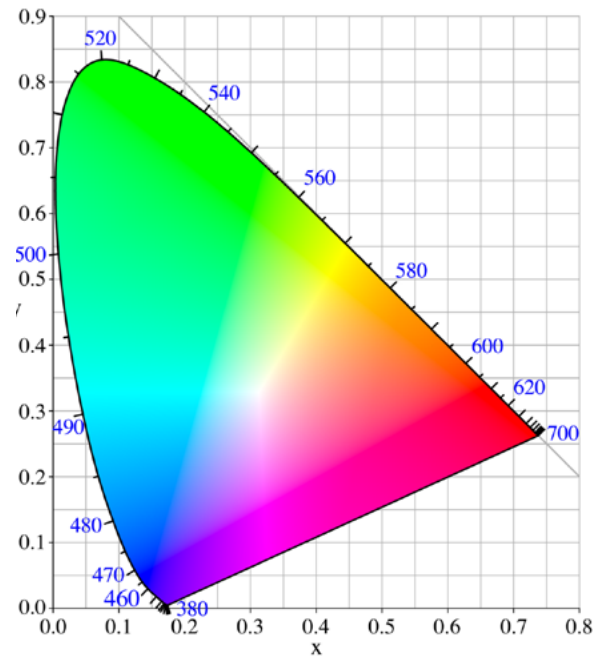


Figura 3 Espacio de color CIE XYZ 1931

colores que no tienen una longitud de onda definida, pero sí son perceptibles por la codificación que crea el cerebro como resultado de mezclas de diferentes longitudes de onda.

Desde el punto de vista del diseño gráfico, una de las características que más pueden afectar a la elección de paletas cromáticas es la existencia de personas con alteraciones en la visión del color. Las anomalías de la visión del color, llamadas generalmente daltonismo (Fishman 2008), afectan a unos 200 millones de personas en el mundo (Machado, Oliveira, Fernandes 2009). Se clasifican según la capacidad del sujeto para diferenciar colores. Los sujetos normales son tricromatas ya que poseen tres tipos de fotorreceptores para la detección del color. Si la sensibilidad de alguno de estos fotorreceptores está alterada nos encontraríamos frente a una persona tricromata anómala, mientras que si carecen de un tipo de fotorreceptor del color hablaríamos de dicromatas. En casos extremos es posible encontrar sujetos monocrómatas, pero la incidencia de esta alteración es menor al 0,003% de la población (Malacara 2003). Si analizamos los colores que confunden los dicromatas observamos que en el espacio CIE XYZ forman diferentes rectas, conocidas como rectas de confusión, que convergen en tres puntos diferentes. Estos puntos de convergencia, llamados centros de confusión, sirven para clasificar los defectos en protanopia, deuteranopia (daltonismo) y tritanopia. De forma análoga los tricromatas

anómalos pueden ser protanómalos, deteuranómalos o tritanómalos. Un dato importante es la incidencia: protanomalía (1% en hombres, 0,03% en mujeres), deuteranomalía (4,6% en hombres, 0,36% en mujeres), tritanomalía (se ignora), protanopia (1% en hombres, 0,02% en mujeres), deuteranopia (1,3% en hombre, 0,01% en mujeres) y tritanopia (0,005% en hombres, 0,002% en mujeres) (Malacara 2003). Hasta un 8% de los hombres presentan algún tipo de alteración en la visión del color frente a menos del 0,5% de las mujeres.

Conocer el tipo de defecto en la percepción del color permite predecir los colores que el sujeto va a confundir a nivel de su tono (nombre del color) pero esto no significa que no se pueda generar una paleta en base a dichos colores ya que si elegimos cuidadosamente el brillo de cada color estos sujetos los diferenciarán como si se tratase de una paleta monocromática. De hecho, esta es la premisa bajo la cual la W3C establece unos valores mínimos de contraste de color (Jang, Kim y Yi 2007, Sandnes y Zhao 2015), aunque esta denominación no sea correcta. Así y todo, la recomendación de la W3C en la WCAG 2.0 (<https://www.w3.org/TR/UNDERSTANDING-WCAG20/visual-audio-contrast-without-color.html>) de no utilizar el color como vehículo de información de forma exclusiva es la opción más sensata a nivel de accesibilidad universal.

Conclusiones

Elementos claves en el diseño gráfico como la tipografía o las paletas cromáticas pueden ser optimizadas atendiendo a características perceptuales. El conocimiento básico de las ciencias de la visión pueden aportar a la diseñadora o diseñador gráfico argumentos que permitan decidir cuál es la tipografía ideal en un proyecto o la paleta cromática adecuada. En el primer caso, los valores de AV o FSC medios del ser humano permiten limitar las elecciones de tamaño de letra o de contraste. Por otra parte, la optimización de la elección de colores atendiendo al conocimiento de la problemática de las anomalías cromáticas permite conseguir una mayor efectividad y accesibilidad en los diseños. Estos conocimientos, aplicables a los entornos digitales, permiten poner solución a las dudas y retos actuales y futuros que nos imponen la tecnología y los diferentes casos de uso sin olvidarnos de la importancia de respetar y promover las buenas prácticas de accesibilidad.

Bibliografía

- ARDITI A. Y JIANNNA C. (2005): *Serifs and font legibility*. Vision research 45:23: 2926-2933.
- ARTIGAS J. M., CAPILLA P., FELIPE A., Y PUJOL J.: *Óptica fisiológica. Psicofísica de la visión*, España, McGraw-Hill/ Interamericana de España, SA.
- BENJAMIN, W. J.: *Borish's Clinical Refraction-E-Book*. Elsevier Health Sciences, 2006.
- BERKLEY M. A., FREDERICK K., Y DAVID W. W. (1975): *Grating visibility as a function of orientation and retinal eccentricity*. Vision research 15:2: 239-244.
- BIGELOW C. (2019): *Typeface features and legibility research*. Vision research 165: 162-172.
- Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 818/2009, de 8 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento General de Conductores.
- DOWNIE L. E., LJOUDMILA B., Y PETER R. K. (2018): *Blue light filtering intraocular lenses (IOLs) for protecting macular health*. Cochrane Database of Systematic Reviews 5.
- ELLIOTT C. BROWN, CREDELLE T. L., HAN S., IM M. H., HIGGINS M. F., Y HIGGINS, P.: "Development of the PenTile Matrix™ color AMLCD subpixel architecture and rendering algorithms." Journal of the Society for Information Display 11.1 (2003): 89-98.
- FISHMAN G. A. (2008): *John Dalton: though in error, he still influenced our understanding of congenital color deficiency*. Ophthalmic genetics 29:4: 162-165.
- HENDERSON B. A., Y KELLY J. G. (2010): *Blue-blocking IOLs: a complete review of the literature*. Survey of ophthalmology 55:3: 284-289.
- HUBEL D. H., Y TORSTEN N. W.: *Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex*. The Journal of physiology 148:3 (1959): 574-591.
- JANG Y. G., HACK Y. K., Y YI M. K. (2007): *A color contrast algorithm for e-learning standard*. International Journal of Computer Science and Network Security 7:4: 195-201.
- KREMERS J., BARAAS R. C Y MARSHALL N J. (2016): *Human color vision*. Berlin: Srpinger.
- LAI E., BENJAMIN L., Y CIRALSKY J. (2014) *Ultraviolet-blocking intraocular lenses: fact or fiction*. Current opinion in ophthalmology 25:1: 35-39.
- LEGGE G. E., AND BIGELOW C. A. (2011) *Does print size matter for reading? A review of findings from vision science and typography*. Journal of vision 11:5: 8-8.

- LEGGE, GORDON E., PARISH, D. H., LUEBKER, A., Y WURM, L. H.: *Psychophysics of reading. XI. Comparing color contrast and luminance contrast*. JOSA A 7.10 (1990): 2002-2010.
- LEGGE, GORDON E., PELLI, D. G., RUBIN, G. S., Y SCHLESKE, M. M.: *Psychophysics of reading—I. Normal vision*. Vision research 25.2 (1985): 239-252.
- LEGGE GORDON E., GARY S. RUBIN, Y ANDREW LUEBKER: *Psychophysics of reading—V. The role of contrast in normal vision*. Vision research 27.7 (1987): 1165-1177.
- LEGGE, GORDON E., RUBIN, G. S., PELLI, D. G., Y SCHLESKE, M. M.: *Psychophysics of reading—II. Low vision*. Vision research 25.2 (1985): 253-265.
- MALACARA DANIEL: *Color vision and colorimetry: theory and applications*. Color Research & Application: Endorsed by Inter Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur 28.1 (2003): 77-78.
- NAVARRO RAFAEL, Y M. ANGELES LOSADA: *Shape of stars and optical quality of the human eye*. JOSA A 14.2 (1997): 353-359.
- NAVARRO RAFAEL, PALOS FERNANDO Y GONZÁLEZ LUÍS M.: *Adaptive model of the gradient index of the human lens. II. Optics of the accommodating aging lens*. JOSA A 24.9 (2007): 2911-2920.
- OSAKA NAOYUKI: *Size of saccade and fixation duration of eye movements during reading: Psychophysics of Japanese text processing*. JOSA A 9.1 (1992): 5-13.
- PATERSON DONALD G. Y MILES A. TINKER: *Studies of typographical factors influencing speed of reading. X. Style of type face*. Journal of Applied Psychology 16.6 (1932): 605.
- PELI ELI. *Contrast in complex images*. JOSA A 7.10 (1990): 2032-2040.
- PIEPENBROCK COSIMA, MAYR S., MUND, I., Y BUCHNER, A.: *Positive display polarity is advantageous for both younger and older adults*. Ergonomics 56.7 (2013): 1116-1124.
- POINTER JONATHAN S.: *The influence of level and polarity of figure ground contrast on vision*. Acta Ophthalmologica Scandinavica 79.4 (2001): 422-425.
- PORCAR ESTEBAN, PONS ÁLVARO, LORENTE AMALIA: *Visual and ocular effects from the use of flat-panel displays*. International journal of ophthalmology 9.6 (2016): 881.
- SANDNES FRODE EIKA, Y ANQI ZHAO: *An interactive color picker that ensures WCAG2.0 compliant color contrast levels*. Procedia Computer Science 67 (2015): 87-94.
- SHARMA GAURAV: *LCDs versus CRTs-color-calibration and gamut considerations*. Proceedings of the IEEE 90.4 (2002): 605-622.
- SHEEDY JAMES E., IAN L. BAILEY, Y THOMAS W. RAASCH.: *Visual acuity and chart luminance*. American journal of optometry and physiological optics 61.9 (1984): 595-600.
- SHEEDY, J. E., TAI, Y. C., SUBBARAM, M., GOWRISANKARAN, S., & HAYES, J.: *ClearType sub-pixel text rendering: Preference, legibility and reading performance*. Displays 29.2 (2008): 138-151.
- SLOAN, LOUISE LITTIG: *Reading aids for the partially sighted: A systematic classification and procedure for prescribing*. (1977).
- TINKER, MILES ALBERT: *Legibility of print*. No. Z250 A4 T5. 1963.
- TINKER MILES A., Y DONALD G. PATERSON: *Studies of typographical factors influencing speed of reading. VII. Variations in color of print and background*. Journal of Applied Psychology 15.5 (1931): 471.
- UNE 170002:2009 *Requisitos de accesibilidad para la rotulación*.

Vicent Sanchis Jurado

Doctor en Optometría y Ciencias de la Visión. Profesor asociado del Departamento de Óptica, Optometría y Ciencias de la Visión de la Universitat de València. Desarrollador y consultor de accesibilidad web

Álvaro Pons Moreno

Doctor en Física. Profesor titular del Departamento de Óptica, Optometría y Ciencias de la Visión de la Universitat de València.