

LA VISIÓN CROMÁTICA

CHROMATIC VISION

Julián García Sánchez

Académico de Número de la Real Academia Nacional de Medicina de España - Oftalmología

Palabras clave:

Daltonismo;
Achromatopsia;
Protanopia;
Deuteranopia;
Trichromatopsia;
Dyschromatopsia.

Keywords:

Daltonism;
Achromatopsia;
Colour blindnesses;
Deuteranopia;
Protanopia;
Trichromatopsia;
Dyschromatopsia.

Resumen

Se hace un recorrido sobre la actualidad de los conocimientos sobre la Visión cromática desde el punto de vista físico repasando la evolución de estos hasta llegar a la teoría tricromática de Young-Helmholz, que es la actualmente aceptada. Se hace un recorrido sobre los conocimientos anatómicos y neurofisiológicos que permiten explicar que bastan tres conos diferentes dotados de sus correspondientes Opsinas que, seleccionando la longitud de onda correspondiente, pueden combinarse para ser capaces de identificar todos los colores de la naturaleza. Finalmente, partiendo de los conocimientos de la patología cromática iniciados por Dalton, se hace un seguimiento de los avances que han permitido delimitar la patología, tanto de los pacientes como de los animales dicrómatas así como de los tricrómatas anormales, basándose en el estudio de las Opsinas y de los medios de exploración disponibles tanto para estudios de investigación como para el diagnóstico clínico.

Abstract

To do a look over the current knowledge of the Chromatic Vision from the physical point of view, we reviewing the evolution of these to the theories that led to the trichromatic theory of Young-Helmholz, which is the currently accepted. We revise the anatomical and neurophysiological knowledge that allows to explain that three different cones equipped with their corresponding Opsinas are sufficient that, by selecting the corresponding wavelength, can be combined to be able to identify all the colors of nature. Finally, based on the knowledge of chromatic pathology initiated by Dalton, the progress that has allowed to delimit the pathology, both of patients and of dichromatic animals as well as of abnormal trichromatism, is tracked, based on the study of Opsins and the means of exploration available for both research studies and the clinical diagnosis.

INTRODUCCIÓN

En esta presentación, intentaremos aproximarnos a la visión de los colores, tratando de valorar ante todo y, sobre todo, la visión cromática, tanto desde el punto de vista físico y/o médico, como a través del valor que esta interpretación del mundo coloreado tiene nuestra valoración del propio mundo que nos rodea.

Ante todo, hemos de ser conscientes de que, si la sensación cromática ha precedido en millones de años al lenguaje y, por supuesto, a la escritura, necesitaremos introducirnos en ella, más allá de las palabras y las letras, aunque para poder explicarla, no nos va a quedar otro remedio que apoyarnos en ambas.

Como punto de partida, podemos entrar en el tema haciéndonos una serie de preguntas que pueden ayudarnos desde una nueva perspectiva, dejando en un segundo plano lo que como médicos suele dominar nuestros planteamientos. Dejaremos, por tanto, la patología para introducirnos en el sentido que tiene nuestra capacidad para captar los colores para comprender mejor el sentido que tiene para la vida y nuestra relación con el entorno la visión del color.

¿Qué sentimos cuando vamos a una exposición o a un museo?

¿Somos capaces de apreciar colores y formas o simplemente nos limitamos a valorar la historia del cuadro, los personajes, su composición o la calidad al pintor?

Cuando contemplamos el cuadro del emperador Carlos V, ¿en que pensamos? ¿Quizá en la perspicacia del pintor para hacernos ver al “emperador guerrero y victorioso? y, cuando contemplamos la Gioconda que nos atrae más ¿la sonrisa y la posible identidad de la persona allí representada o la combinación de colores que el pintor ha utilizado para conformar esa imagen? Paradójicamente, habitualmente dejamos en un segundo plano el color, que ha sido imprescindible para que el pintor lograra hacernos ver su obra y, aceptamos el engaño del autor para llevarnos a su terreno y llevar nuestra atención *hacia su mensaje*. La sonrisa misteriosa y el eterno vencedor de todas las batallas en nuestros ejemplos.

A modo de prólogo, vamos a aclarar algunos puntos que pueden ayudarnos a entrar en el complejo mundo de la visión de los colores.

Autor para la correspondencia

Julián García Sánchez
Real Academia Nacional de Medicina de España
C/ Arrieta, 12 · 28013 Madrid
Tlf.: +34 91 159 47 34 | E-Mail: secretaria@ranm.es

CONCEPTOS PRELIMINARES

Una radiación determinada, únicamente puede producir la sensación de un color determinado, si alcanza un ojo que disponga de los elementos necesarios para poder procesar y, por tanto, producir la sensación de ese color. Es decir, *el color rojo no existe en la radiación de 650 nanómetros*, por tanto, para ser definida como tal, necesita un “ojo normal” o, mejor dicho, *“un sistema visual con la organización neural necesaria para identificar esa radiación electromagnética con ese color”*, pero, además, se requieren unas condiciones ambientales determinadas para que esa radiación sea reconocida, pues esa misma radiación no puede ser “identificada” en la visión nocturna cuando todos los gatos son pardos” (1,2). Quiere esto decir que la captación de la luz es, por tanto, un sistema mucho más simple o, aunque ni la captación de esta, ni la del color son imprescindibles para la vida; la naturaleza está llena de ejemplos de formas de vida que no reconocen los colores ni la luz (3).

LA VISIÓN CROMÁTICA

Aunque como señalábamos, la visión cromática no es imprescindible para la vida, para entenderla un poco mejor, analizaremos las ventajas de esta y las limitaciones de su carencia para tratar de comprender su papel en la naturaleza.

1.- Limitaciones de la visión acromática

Es indudable que la propia existencia de la visión cromática nos hace intuir que su carencia ha de tener necesariamente algún tipo de limitaciones, siendo la más notoria que se mueve en una única dimensión: La luminosidad. Y ¿esto que supone si lo trasladamos un nivel que nos permita comprenderlo?, algo tan simple como que nos resultaría imposible diferenciar una superficie clara mal iluminada de una oscura bien iluminada lo que supone que, en ocasiones, únicamente seríamos capaces de decidir basándonos en el entorno (3).

2.- Ventajas de la visión cromática

En la visión cromática, además de la luminosidad, el ojo es capaz de captar otras dos dimensiones: Tonalidad y saturación.

En la naturaleza, el color presenta una extraordinaria serie de utilidades, muchas de ellas perfectamente conocidas y estudiadas, junto a muchas otras no conocidas. Entre las conocidas figuran las de identificación, las de aviso y las responsables de la ayuda a la reproducción y a la alimentación. Los depredadores y sus presas utilizan los mismos colores para dos fines opuestos, el camuflaje para no ser descubierto e identificar a la presa frente al ocultarse para ser confundido con el entorno despistando al atacante, ayudándose en algunos casos, para mejorar todavía más la capacidad de ocultación, con el cambio de color según la

época del año, e incluso instantáneamente como es el ejemplo del camaleón. También el color puede ser una señal de aviso que advierte de la peligrosidad del individuo portador, recurso que es también utilizado por los que son inofensivos imitando a aquellos como algunas mariposas camufladas de avispa (3).

3.- Bases anatómicas de la visión del color

A partir del descubrimiento del efecto prismático por Isaac Newton en 1666, que poco después en 1672 le permite hacer una primera clasificación en la que diferencia los 7 colores primarios del espectro de la luz solar, son muchos los que se interesan por la visión del color, entre ellos el gran Leonardo da Vinci que ya reduce a 4 los colores puros o fundamentales que para el son rojo, amarillo, verde y azul, poco tiempo después en 1681 Edmé Mariotte los reduce a tres, rojo, amarillo y azul, siendo el primero en aproximarse, aunque sea como simple hipótesis, al modo en que la retina humana está organizada para lograr interpretar los colores. En 1757 Michael Limonosov basándose en la tesis de Mariotte que acepta, especula sobre la existencia en la retina de tres tipos de receptores que captarían esos tres colores fundamentales que sostienen los defensores de la teoría tricromática (1,2,3). En 1777 George Palmer opina que cada rayo de luz moviliza tres tipos de moléculas en la retina. Entrando ya en el siglo XIX, en 1801 Thomas Young, retoma el tema y opina, sin bases experimentales, apoyando esta idea de Mariotte, que, con el límite de tres receptores (“particules”) diferentes en la retina, es posible componer la totalidad de los colores, incluyendo el blanco; sostiene por tanto que, sobre la base de la teoría tricromática, tendría que haber en la retina unos elementos capaces de captar esos tres colores. El propio Young, unos años más tarde, en 1807, sostiene que la deficiencia de la visión de los colores descrita por Dalton en 1798 se debe a la ausencia o deterioro de uno de esos receptores. En 1854, Grassmann, moviéndose todavía en el plano de la hipótesis, define el tricromatismo en la visión del color como el hecho de que es posible conseguir cualquier sensación de color con la mezcla de los estímulos coloreados, rojo, verde y azul (R, G y B). La teoría de Young pasa desapercibida para sus contemporáneos hasta que en 1886 Helmholtz la toma y opina que en los conos retinianos existen tres especialidades específicas para cada uno de esos tres colores fundamentales, a partir de este momento, la teoría tricromática pasa a ser conocida como Teoría Young-Helmholtz. Puede sorprender que a lo largo del siglo XIX y principios de XX, todavía se aceptaba la teoría de los cuatro colores de Leonardo da Vinci por Goethe 1810, Hering 1878, Hess 1889, Laad-Franklin 1893, Westphal 1910 y muchos otros (4,5,6). Esta teoría de Young-Helmholtz no fue demostrada hasta 1983 por Dartnol que identifica las curvas de absorción de los tres tipos de conos (7,8).

Hasta que comenzaron los primeros estudios con reflectometría de fondo de ojo en la década de los 50 del siglo XX, la teoría tricromática continuó en el terreno hipotético, en 1955 Weale detecta un pigmento en los conos retinianos de la ardilla sensible a la luz de 535 nm. En 1957 Rushton detecta dos pigmentos en la fovea humana uno que absorbe el verde con un

máximo de 540 nm y otro el rojo con un máximo a los 590 nm a los que denomina Chlorolabe y Erythrolabe respectivamente. El tercer pigmento es detectado en 1964 por Marks que sería sensible al color azul con un máximo de absorción en 440nm, denominado Cyanolabe (7,8).

Actualmente, la microesferometría y la biología molecular han venido a confirmar totalmente las teorías de tres tipos de cono, y han permitido identificar el S o corto, el M o medio y el L o largo. Los tres pigmentos pertenecen a la familia de las Rhodopsinas y están constituidos por una larga cadena de aminoácidos con siete hélices, cuya secuencia determina la situación del máximo de la curva de absorción en el espectro visible. Estos tres pigmentos se denominan S-Opsina, M-Opsina y L-Opsina. La S-Opsina está constituida por 348 aminoácidos y su curva de absorción máxima se sitúa en los 420 nm (onda corta violeta), la M-Opsina tiene 364 aminoácidos, el 43% coinciden con los de la M-Opsina y su máxima absorción se sitúa en los 530 nm (onda media verde) y la L-Opsina con 364 aminoácidos, 96% de los cuales coinciden con la M-Opsina, tiene su máxima absorción en la 560 nm (onda larga amarillo-verde).

Los estudios neurofisiológicos nos hacen saber que las tres señales de intensidad luminosa recibidas por los tres tipos de conos, que se produce en función de la intensidad luminosa percibida de forma puramente cuantitativa, son codificados en las células ganglionares en forma de tres señales de parejas antagónicas que han sido identificadas como rojo-verde, azul-amarillo y claro-oscuro (7,8).

El cerebro reconstruye el color a partir de los mensajes luminosos que recibe de las tres parejas antagonistas, rojo-verde y azul-amarilla más la señal acromática de luminosidad. Para que se pueda producir esta reconstrucción se necesita recibir al menos la excitación simultánea de dos fotorreceptores que bien pueden ser 1 cono y un bastón cuando hay poca luz o dos conos cuando hay buena iluminación. El color, una vez percibido, mantiene sus características tanto cuando hay luz crepuscular como bajo el sol del mediodía, esta propiedad de constancia del color ya fue observada por Young en 1807, sin embargo los colores varían en función del contexto, es decir si cambiamos el color del entorno, el color percibido de cualquier objeto varía aunque la iluminación se mantenga constante como demuestra Smith en 1998 (9).

LOS COLORES EN LA NATURALEZA

Los pintores que fueron quizá los primeros en utilizar las estrategias naturales de animales y plantas, es decir de los seres vivos, para incluirlas en sus cuadros, han sido los que nos han ayudado a comprender mejor como la naturaleza utiliza este tipo de características de la visión.

A.- Disimulación: Son todos los procedimientos utilizados en la naturaleza para ocultarse, son comunes a depredadores y presas, aunque lógicamente el fin que

se persigue es diferente en cada caso, dentro de este apartado, podemos diferenciar (3):

1.- Coloración críptica: Es la Homocromía que confunde al animal con su entorno y, frecuentemente según el hábitat, algunos animales ajustan su coloración a los cambios estacionales. Quizá en los animales árticos es donde es más evidente este tipo de disimulación (3).

2.- Coloración disruptiva: Se basa en una superposición de colores que actúan rompiendo la continuidad, únicamente cuando el animal está en su entorno natural, de modo que, si lo observamos aislado del conjunto, puede incluso parecer mucho más visible, pero se hace prácticamente invisible cuando está situado en medio de la manada, al atardecer, etc. El ejemplo más conocido y característico de este grupo es la cebra. En este grupo se incluyen principalmente las aves, aunque también lo presentan otros animales cuyo lado dorsal es oscuro frente a la blancura del ventral. Newton ya explicó este fenómeno haciendo ver que una superficie oscura bien iluminada (dorso), no se puede diferenciar de una clara poco iluminada a lo que es necesario añadir la confusión con la propia sombra del animal (3).

B.- Ostentación: Se utiliza para favorecer la identificación:

Coloración semática: Es la que sirve de aviso, e incluye diversas variantes (3):

1.- Episemática: Sirve para ayudar al reconocimiento entre animales de la misma clase.

2.- Aposemática: Aviso de peligrosidad para alertar a los posibles depredadores.

3.- Pseudoaposemática: Es la que utilizan los animales potencialmente inofensivos para ser confundidos con los del grupo anterior.

4.- Ocelos: Podríamos considerarlos como pertenecientes al grupo anterior pues persiguen el mismo fin de aparentar una peligrosidad inexistente, aunque por ser una combinación de colores con una forma determinada, las podemos considerar como un procedimiento más sofisticado. Consiste en la forma de unas manchas redondeadas que tratan de simular ojos; habitualmente se componen de una mancha central circular que imita la pupila, rodeada de un anillo claro con un color que simula el iris; en algún caso incluso presentan en el centro de la supuesta pupila, un reflejo blanquecino que pretende imitar el reflejo corneal. Son muy habituales en las alas de las mariposas, una en cada ala imitando los ojos de búhos, loros, rapaces, gatos, etc.

C.- Mimetismo: Se trata de una combinación de ostentación y disimulación pues trata de imitar la apariencia natural de un objeto o un animal, disimulando por tanto su propia apariencia unido a la ostentación de simular una falsa apariencia.

D.- La visión del color en los animales: Aunque el conocimiento de la visión de los pacientes daltónicos

nos ha ayudado a comprender mejor la visión cromática de los animales, el análisis de los conos y sus pigmentos ha sido definitiva para valorar exactamente qué tipo de visión tiene cada especie. La mayoría de los mamíferos son dicrómatas (conos M y S), como los pacientes daltónicos, excepto los primates que son tricrómatas (conos M, L y S), es decir tienen las tres Opsinas en los tres tipos de conos. Los insectos son tricrómatas en su mayoría excepto moscas, hormigas y libélulas que son dicrómatas. Los animales de vida nocturna en general son acrómatas, es decir carecen de conos y pigmentos para el reconocimiento de ningún color por ello la denominación “visión monocromática” que vemos en algunas publicaciones es una denominación inadecuada, conejos, ratones, etc., se incluyen en este grupo. Los peces que viven en superficie son tricrómatas, los de profundidades medias dicrómatas y los de la fauna abisal son acrómatas. Los mejor dotados de la naturaleza son las aves, que en algunas especies disponen de receptores y pigmentos adicionales que les permiten extender su arco cromático hasta el infrarrojo y el ultravioleta.

EL DALTONISMO. PATOLOGÍA DE LA VISIÓN CROMÁTICA

1.- Origen del conocimiento:

John Dalton nace en Cumbria en 1776, localidad situada al noroeste de Inglaterra junto al mar, muy cerca de Escocia situada al Norte. Joseph Huddart, nace también en Cumbria en 1741 y es el primero en describir una anomalía de la visión cromática cuando llega a su conocimiento la particular visión de los colores de un zapatero del puerto de Allomby en el que residía. Describe minuciosamente esta anomalía en una carta que en 1777 envía al erudito Reverendo Joseph Priestley en la que explica como el zapatero distinguía las fresas por su forma y tamaño, pero no por su color como el resto de las personas, aunque si mencionaba que, excepto en el color, tenía una vista normal pues veía lo mismo que todo el mundo normal. Huddart que encuentra otros casos similares en otros miembros de la misma familia, publica ese mismo año sus observaciones en *Philosophical Transactions of the Royal Society*. La proximidad geográfica de Eaglestfield en donde vivía Dalton, le permitió a este reunirse con esta familia Harris, lo que fue decisivo para avanzar y desarrollar su trabajo. Dalton, conocedor de las observaciones de Huddart fue el primero en realizar un estudio científico sobre esta anomalía cromática, que el mismo padecía, y en 1788 presenta su primera publicación sobre esta anomalía titulada “Extraordinary facts relating to the vision of Colours, with observations” en *Philosophical transactions of the Real Society of the* la que era miembro desde el 3 de Octubre de 1794. Ya señala el papel de la herencia al comprobar que su propio hermano y varios miembros de la familia Harris padecen la misma anomalía. En su publicación describe muy bien su interpretación de los colores, veamos algunos ejemplos: “La sangre la veo roja, pero... las manchas de sangre o barro en los calcetines son difíciles de distinguir.... El rojo, y particularmente el escarlata, es un color magnífico a la luz

de las velas, pero de día, algunos rojos están lejos de ser lo que son, yo los calificaría de gris sucio...El haz de una hoja de laurel es un buen equivalente de una barra de lacre, su envés tiene el color rojo claro de los sellos...me hago una idea general de la hierba... me parece muy poco diferente del rojo” (1).

2.- Terminología:

El término *Daltonismo* referido a la patología de la visión cromática, fue propuesto por el Suizo Pierre Prévost en 1805 y publicado en 1827. En 1837 August Seedeck ya diferencia al menos dos tipos de anomalía que denomina Protanopia y Deuteranopia, que es la que se adopta a partir de finales del siglo XIX, pero ¿esto en que consiste, más allá de la denominación?

En la *Protanopia* falta el pigmento visual L-Opsina en el cono L. En la *Deuteranopia*, el que falta es el pigmento visual M-Opsina del cono M. En ambos casos, la falta de un pigmento transforma el *Tricromatismo* en *Dicromatismo*.

En otros casos, cuando los conos conservan el pigmento, pero este está alterado, nos encontramos ante lo que se denomina Tricromatismo anómalo o anormal, que se denominará *Protanomalia* cuando el pigmento defectuoso es la L-Opsina del cono L y *Deuteranomalia* si es la M-Opsina del cono M la afectada (11,12,13).

3.- Diagnóstico. Medios de exploración:

Los procedimientos utilizados para el diagnóstico parten de una serie de principios que se han de tener en cuenta para valorar las tres dimensiones de la visión del color, es decir, la tonalidad que es el propio color, la pureza cromática que es la saturación y la claridad que es la luminosidad. Los principios generales son según Risse (14,15):

1.- La sensibilidad para la tonalidad ha de ser analizada directa o indirectamente. Se puede medir por la saturación, midiendo la cantidad mínima que el sujeto ha de añadir de la tonalidad sobre el test blanco para que lo vea diferente al blanco modelo y se puede medir por la luminosidad haciendo comparar al sujeto la impresión de una luz coloreada monocromática a la de una luz de referencia que puede ser blanca o monocromática; este último procedimiento no tiene aplicación clínica pues requiere un paciente muy entrenado previamente, se reserva para estudios de investigación.

2.- La comparación ha de realizarse con tonalidades especialmente elegidas tanto si en los test se utilizan colores monocromáticos espectrales como pigmentos coloreados.

3.- Esto se puede hacer comparando con un color invariable, como hacen los instrumentos que se basan en ecuaciones coloreadas, o clasificando los botones coloreados por orden de como en los test de confusión.

Ecuaciones coloreadas: Ideadas por Lord Rayleigh en 1881 (3), se basan en la medición del umbral de percepción comparando dos colores, modificando por parte del paciente el color test hasta que se alcanza el punto en que el color modificado es diferente al modelo. Esta medición se puede hacer con el llamado procedimiento metamérico cuando el color y la muestra son físicamente diferentes o el isomérico cuando son idénticos. En los test metaméricos el sujeto explorado ha de lograr igualar el test y el modelo, el test isomérico mide la sensibilidad diferencial para la tonalidad analizada. Actualmente se dispone de numerosos modelos de Colorímetros que permiten realizar tanto ecuaciones metaméricas como isoméricas. Los más utilizados son el Anomaloscopio de Ohta, el Anomaloscopio de Heilberg, el Anomaloscopio de Nagel y el Colorímetro automático Color Vision Meter CVM-712 (14).

Test de confusión: Son los utilizados desde que en 1876 Jakob Stilling (16) elabora las primeras *láminas pseudoisocromáticas* que permitieron llegar al diagnóstico clínico de las discromatopsias congénito-hereditarias y/o adquiridas. Todavía siguen siendo las más utilizadas para el diagnóstico todavía en la actualidad por su sencillez, especialmente las diseñadas en 1917 por Shinobu Ishihara(1,3).

Test de clasificación: El primero del que tenemos noticias es el de *Clasificación de colores* de 1837, que consistía en una serie de lanas coloreadas que el paciente había de colocar en un orden similar a los colores del espectro, fue ideada por el físico alemán August Seebeck y modificada por el sueco Alaric Frithiof Holmgran en 1877 (3). El procedimiento más utilizado actualmente para la correcta clasificación de las discromatopsias es el *Test 100-hue de Farnsworth-Munsell* de 1943 (17) y para el uso en la clínica diaria se emplean los más simplificados *Test Panel D-15 de Farnsworth* de 1947 (18,19), el 28-Hue de Roth y el 40-Hue de Lanthony (20).

CONCLUSIONES

El estudio de la Visión Cromática ha ocupado siempre en la Oftalmología un segundo plano y su estudio ha demostrado muy poco interés para los investigadores, quizá debido en parte por las dificultades que conlleva su interpretación, a pesar de ello, a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, se pudieron ir desentrañando, como hemos visto, muchas de las incógnitas que desde el siglo anterior se intuían pero no habían podido ser demostradas. Actualmente parece fuera de toda duda, que en el ojo humano la existencia de tres tipos de conos, cada uno de ellos dotado de una Opsina que es capaz de detectar preferentemente la información sobre los rayos luminosos con una longitud de onda determinada, nos permite a los individuos tricromatas diferenciar prácticamente la totalidad de los colores que se pueden encontrar en la naturaleza. Somos capaces, incluso, de entender el mecanismo de transmisión de la información desde estos tres tipos de conos hasta la célula ganglionar y a partir

de ahí, ya no tenemos las ideas tan claras. El recorrido de esta información hasta la corteza occipital y el procedimiento de elaboración de la imagen y como el cerebro es capaz de modular la imagen para que el color no varíe en condiciones iluminaciones diversas y por qué un mismo color es visto diferente cuando varía el color del entorno, ¿acaso la información que envía el cono con su Opsina no es idéntica?. Y como se ha resuelto la capacidad adaptación que nos permite a pesar de los movimientos oculares mantener en situación los cientos de colores del entorno, sin que estos se mezclen.

Confiamos en que la Neurofisiología nos permita en un próximo futuro obtener respuesta a estas y otras muchas lagunas que todavía oscurecen nuestros conocimientos sobre la Visión del Color.

BIBLIOGRAFÍA

1. Duke-Elder S. System of Ophthalmology. Vol IV. The physiology of the eye and of visión. Henry Kimpton, London. 1968
2. Esteban de Antonio M. Historia de la Oculística. Vol I. Mac Line S.L. Madrid. 2011
3. Lanthony P. Historia natural de la visión cromática. La Martinière. París.2012
4. Cibis GW, Beaver HA, Johns K, et al. Fundamentos y principios de la Oftalmología. Elsevier España SA. 2008
5. Liesegang ThJ, Skuta GL, Cantor LB. Fundamentos y principios de Oftalmología. Elsevier. Amsterdam. 2008
6. Cabanis EA, Bourgeois H, Iba-Zizen M-T. L'imagerie en Ophthalmologie. Masson. París. 1996
7. Rushton WAK. Pigments and signals in color vision. J Physiol. 1972; 220: 1-31
8. Dartnal HJA, Bowmaker JK, Mollon JD. Human vision pigments: microspectrophotometric results from eyes of seven persons. Proc R Soc London B Biol Sci. 1983; B220: 115-130
9. Smith VC, Jin Q, Pokorny J. Color appearance: Neutral surrounds and spatial contrast. Vis Research. 1998; 38: 3265-3269
10. Lanthony P, Frézal J. Vision des couleurs and pathologie Génétique. Cap 16, en Dufier J-L, Kaplan J. Oeil et Genetique. Masson. París. 2005
11. Liou GI, Peachey NS, Peachey NS. Early onset photoreceptor abnormalities induced by targeted disruption of the interphotoreceptor retinoid-binding protein gene. J Neurosci. 1998; 18: 4511-4520
12. Molday RS. Photoreceptor membrane proteins, phototransduction, and retinal degenerative diseases. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1998; 39: 2491-2513
13. Pokorny J, Smith VC, Verriest G, Pincers AJLG. Congenital and acquired color vision defects. Grune&Stratton. New York. 1979
14. Risse J-F. Exploration de la fonction visuelle. Masson. París. 1999.
15. Links A. An essay on color vision and color vision test. Grune&Stratton. New York. 1964

16. Stilling J. Pseudoisochromatische Tafeln für de Prüfung des Farbensinner. Strasbourg. 1876. Citado por Risse J-F. Exploration de la fonction visuelle. Masson. París. 1999.
17. Farnsworth D. The Farnsworth-Munsell 100 hue and dichotomous test for color vision. J Opt Soc Am. 1943; 33: 568-578
18. Farnsworth D. The Farnsworth dichotmeos test for color vision blindness Panel D 15. Phisiological corporation. New York. 1947
19. Lanthony P, Dubois-Poulsen A. Le Farnsworth 15 désaturé. Bul Soc Ophtal Fr. 1973; 73: 861-866
20. Lanthony P. Le New color test. Bul Soc Ophtal Fr. 1975; 75: 217-222

DECLARACIÓN DE TRANSPARENCIA

El autor/a de este artículo declara no tener ningún tipo de conflicto de intereses respecto a lo expuesto en la presente revisión.

Si desea citar nuestro artículo:

García -Sánchez J.

La visión cromática

ANALES RANM [Internet]. Real Academia Nacional de Medicina de España; An RANM · Año 2019 · número 136 (03) · páginas 262 – 267

DOI: 10.32440/ar.2019.136.03.rev05
