

Neurobiología

de la visión

Primera Parte

Dr. César Urtubia Vicario PhD

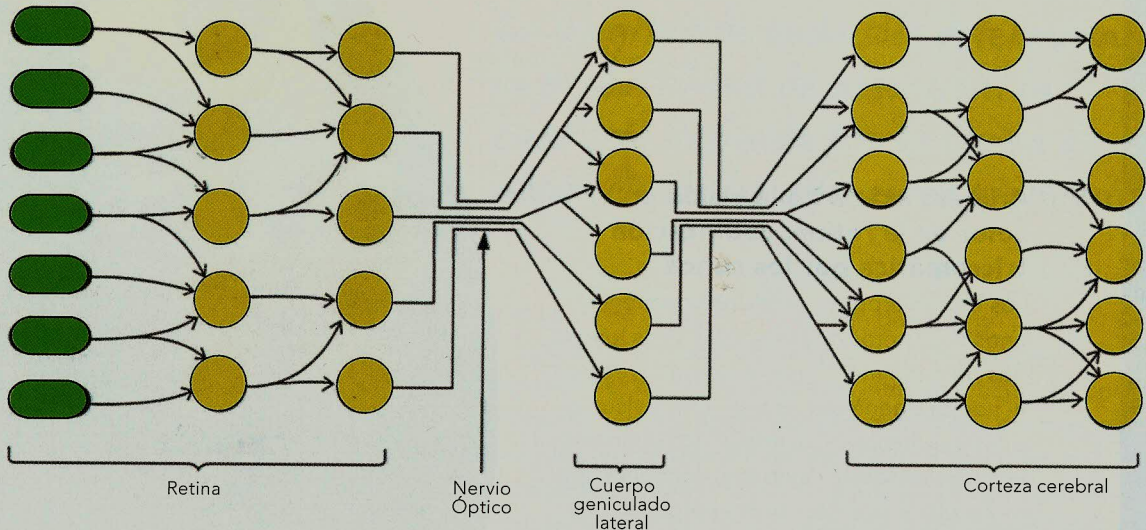
Universitat Politècnica de Catalunya (España)

El sentido cromático se basa en un sistema de discriminación en dos estadios, en primer término en el ojo, y finalmente en el cerebro.

Como muy bien aprecia el premio Nobel de Fisiología David Hubel (Hubel, 1999), "los varios cientos de dólares extra que los consumidores están dispuestos a pagar para tener una televisión en color en lugar de una en blanco y negro, indica que nos tomamos realmente en serio nuestro sentido de la percepción del color". Este sentido cromático se basa en un sistema de discriminación en dos estadios, en primer término en el ojo, y finalmente en el cerebro.

En el ojo tiene su fundamento, a su vez, en un doble procesamiento en la retina, primero en los conos y posteriormente en la interacción de varios tipos celulares para enviar finalmente una señal al cerebro a través de las células ganglionares. En el cerebro, previa una modulación por el tálamo (cuerpo geniculado lateral), el color es percibido en unas zonas específicas de la corteza visual que implican una organización jerárquica de integración de los impulsos nerviosos (Figura 1).

Figura 1. Circuitos neuronales del sistema visual



Ventajas evolutivas de la visión en color

La capacidad de distinguir los colores permite, entre otras posibilidades, la de hacer visibles a los animales que utilizan el camuflaje críptico para no ser vistos por sus depredadores. En efecto, es mucho más difícil que una presa se confunda con su entorno si su depredador puede discriminar, además de la intensidad de la luz, la longitud de onda de la misma. Por otro lado, el color es determinante a la hora de elegir los frutos maduros (rojizos) y poder distinguirlos fácilmente de los inmaduros (verdes). En casi todos los grupos de animales, se utiliza el color como exhibición sexual en mayor o menor grado, es decir, para exhibición de colores que atraerán al sexo opuesto y que en general es propio del sexo masculino, como en los vistosos colores de muchas aves o los colores que exhibe en su rostro el mandril macho, uno de los poco frecuentes casos de este fenómeno entre los mamíferos (Urtubia, 2007) (Figura 2).



Figura 2. Rostro vivamente coloreado del mandril macho

Primera etapa de la visión en color en la retina: codificación tricromática por los conos

Los fotorreceptores retinianos contienen unos pigmentos que absorben unas longitudes de onda mejor que otras y que reciben el nombre genérico de pigmentos visuales o fotopigmentos. Cuando un fotopigmento absorbe un fotón, cambia su configuración molecular y además libera energía, lo que activa una secuela de eventos bioquímicos en el fotorreceptor, que dan lugar a una señal electroquímica que se transmitirá a las siguientes neuronas visuales en la retina. La retina humana contiene cuatro tipos de fotorreceptores, un único tipo de bastones y tres tipos de conos (Figura 3).

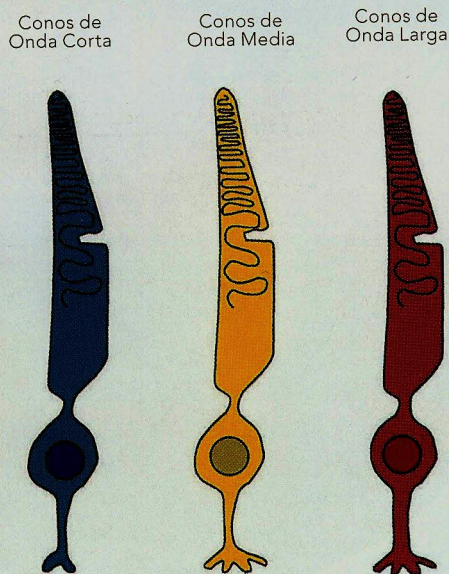


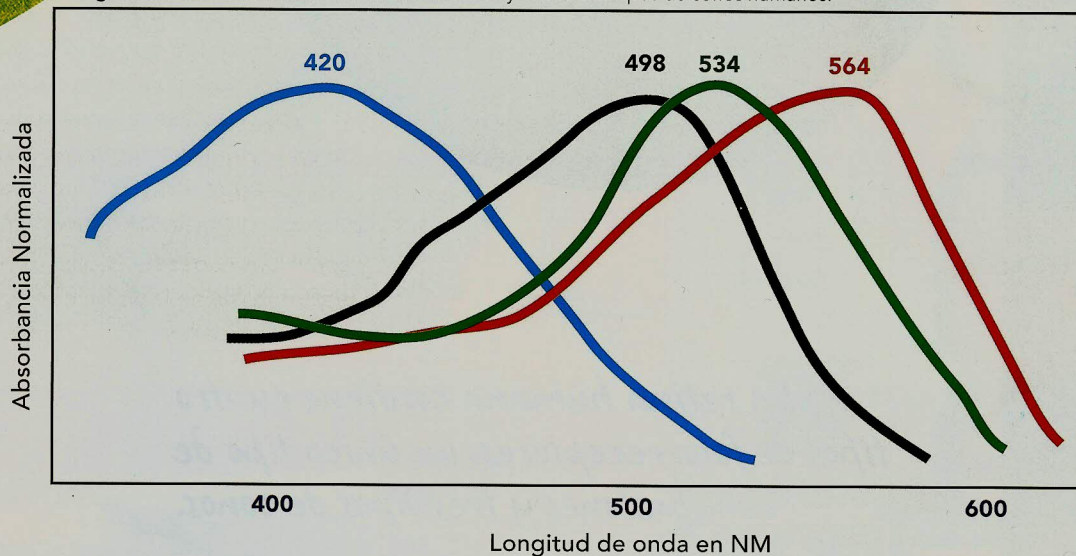
Figura 3. Conos sensibles al azul (onda corta), al verde (onda media) y al rojo (onda larga).

Cada uno de estos tipos de fotorreceptores contiene un pigmento diferente en cuanto a su composición química y, por ende, en su capacidad relativa para absorber luz de diferentes longitudes de onda. Los bastones son responsables de la visión con luz tenue, y no están implicados en la visión en color. Contienen un pigmento visual, la rodopsina, con un máximo de absorción a 498 nm en la región azul-verde del espectro. Los tres tipos de conos difieren entre sí y de los bastones según sus respectivos pigmentos visuales.

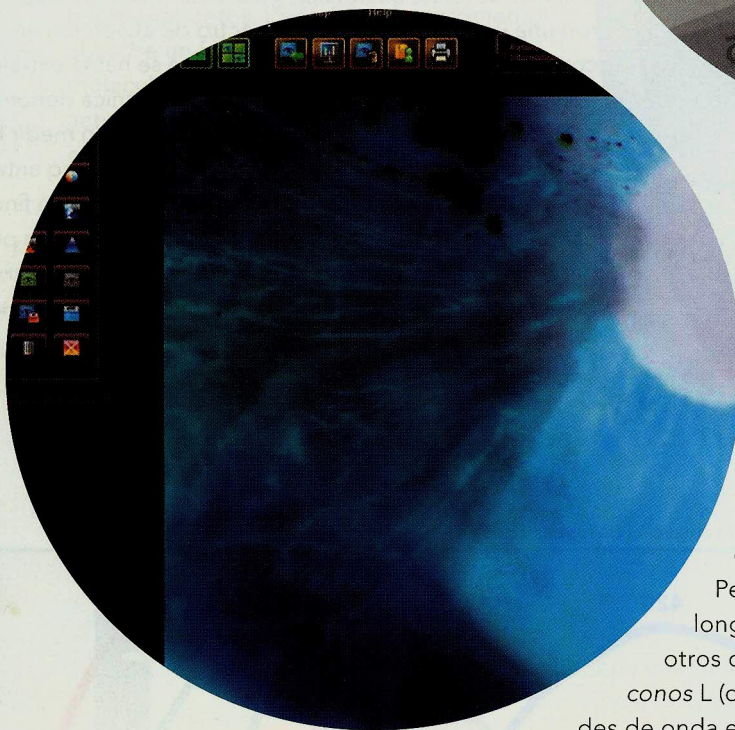
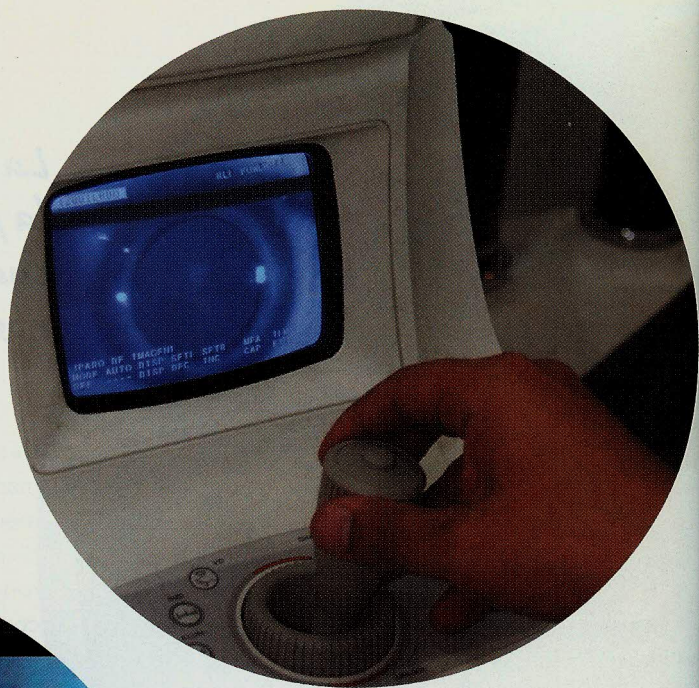
La longitud de onda sólo determina la probabilidad de absorción, la cual está definida por la curva de absorción de los diferentes pigmentos.

Después de varias mediciones en diversos grupos de mamíferos, incluidos varios tipos de primates y algunas mediciones en humanos en ojos intactos efectuadas por diversos autores, Bowmaker y Dartnall (1980) efectuaron una única medición del espectro de absorción en conos de cadáveres humanos a los que se había extraído previamente el cristalino, mediante una técnica denominada *microespectrofotometría*, que consiste en medir las longitudes de onda que pasarán a través del cono antes y después de haberlo decolorado por medio de un fino haz luminoso. La longitud de onda sólo determina la probabilidad de absorción, la cual está definida por la curva de absorción de los diferentes pigmentos. Obsérvese el gran porcentaje de solapamiento en las longitudes de onda que cubre cada tipo de cono (Figura 4).

Figura 4. Máximos de absorción de los bastones y de los tres tipos de conos humanos.



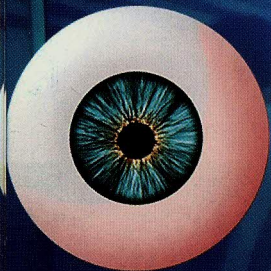
Un tipo de cono absorbe la luz con un máximo próximo a los 420 nanómetros (*sensible al azul*) o conos S (de *short* = corta). Su espectro de absorción se extiende desde los 370 a los 530 nm. En realidad, como habían obtenido anteriormente otros autores como Wald (1964) y Marks (1964), el pico en el azul se da a 440 nm en el ojo intacto, ya que el cristalino (ligeramente amarillento según la edad) absorbe algunas radiaciones de onda corta.




Otro tipo de cono presenta su máximo de absorción a los 534 nanómetros (*sensible al verde*) o conos M (de *middle* = media). Son sensibles a las λ comprendidas entre 430 y 620 nm. Un tercer tipo de cono presenta su máximo de absorción a 564 nanómetros, que corresponde al color amarillo.

Pero debido a que absorbe más longitudes de onda del rojo que los otros conos, se le llama *sensible al rojo* o conos L (de *long* = larga). Absorbe longitudes de onda entre 450 y 780 nm. Los máximos de absorción de los tres tipos de conos se corresponden con los denominados *colores primarios*, cuya suma lumínica da como resultado el blanco.

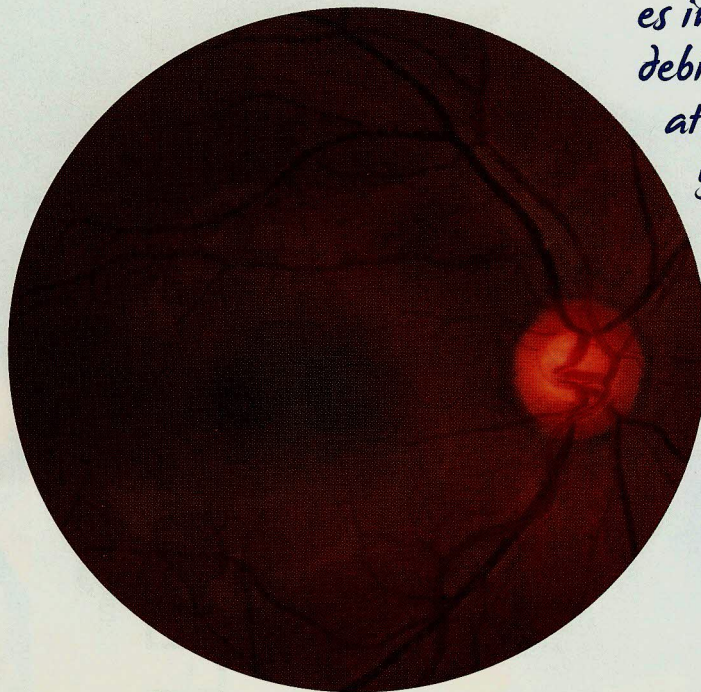
La retina humana contiene cuatro tipos de fotorreceptores, un único tipo de bastones y tres tipos de conos.



Asi pues, el primer estadio del procesamiento del color en la retina responde a un *código tricromático*, lo que está en consonancia con la *teoría tricromática* expresada por Young entre 1802 y 1807 y refrendada por Hemholtz unos cincuenta años más tarde. Dado que cada tipo de cono expresa únicamente un fotorreceptor específico, un haz de luz de una determinada longitud de onda promoverá distintos grados de excitación en los diferentes tipos de fotorreceptores. La población de conos con un máximo de absorción cercano a la longitud de onda de un determinado haz de luz será estimulada más intensamente, y los conos cuyo máximo de absorción esté más alejado de dicha longitud de onda se estimularán menos. 



La retina de los vertebrados es invertida o ranversada, debido a que la luz penetra atravesando la última capa y llega por fin hasta los fotorreceptores que contienen los pigmentos visuales.



En la próxima edición de la revista OPTOMETRÍA publicaremos la segunda parte de éste artículo.

Bibliografía

- Bowmaker, J.K., Dartnall, H.J.A. (1980). "Visual pigments of rods and cones in a human retina". *J. Physiol.*, 298: 501-511.
- Daw, N.W. (1968). "Colour-coded ganglion cells in the goldfish retina: extension of their receptive fields by means of new stimuli". *J. Physiol.*, 197: 567-592.
- Dowling, J.E.; Boycott, B.B. (1966). "Organization of the primate retina: electron microscopy". *Proc. R. Soc. Lond.*, B 166: 80-111.
- Gouras, P. (1968). "Identification of cone mechanisms in monkey ganglion cells". *J. Physiol. Lond.*, 199: 533-547.
- Hering, E. (1964). *Outlines of a Theory of the Light Sense*. Traducción del original alemán de 1878 por Herrick, L.M. y Jameson, D. Cambridge, MA: Harvard University Press.