

**COLOR**

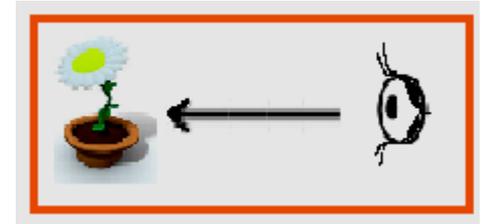
**Y**

**COLORES**

# Explorando concepciones acerca de la luz y la visión

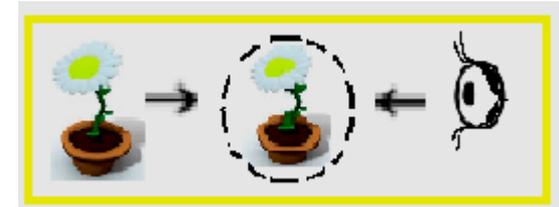
## siglo VI a.C. Pitágoras

la visión se producía por medio de un "fuego invisible" que saliendo de los ojos, a modo de tentáculo, tocaba y exploraba los objetos.



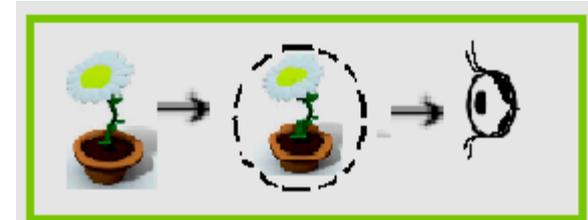
## siglo V-IV a.C. Platón

el "fuego del ojo" hace que éste emita una luz suave. Esta luz se fusiona con el efluvio emanado del objeto ("eideola"), formando así un cuerpo único de luz. Es decir, dos "luces" se unen y actúan como mediadoras entre el hombre y el mundo externo. I.e. el ojo no es pasivo, sino que desempeña un papel importante en el acto de ver.



## siglo V-IV a.C. Demócrito

La luz era una granizada de partículas. Las imágenes se desprendían de los objetos y se precipitaban al ojo



## siglo III a.C. Aristóteles

la luz - es un estado de lo transparente; no es ni fuego ni cuerpo ni efluvio de cuerpo alguno, sino la presencia del fuego o cualquier otro agente similar en lo transparente  
el color - pone en movimiento lo transparente —por ejemplo, el aire— y el órgano sensorial es, a su vez, movido por éste último con que está en contacto.

## siglo XI Ibn al-Haytam, (Alhazen)

- la luz debía ser considerada como una entidad independiente del objeto y del ojo
- formación de una imagen óptica en el interior del ojo semejante a una cámara oscura.

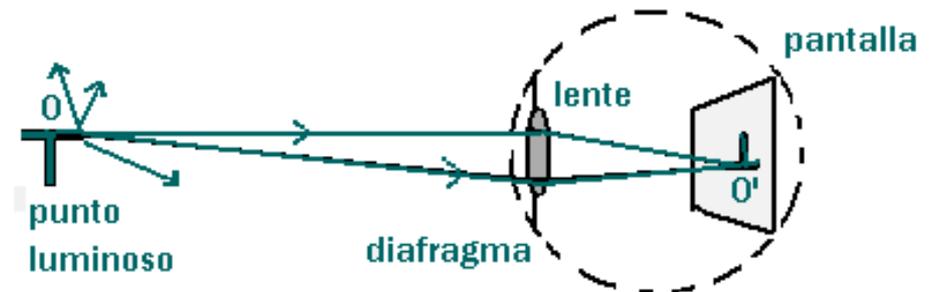


## siglo XV Leonardo Da Vinci

- imagen visual debía de formarse en la retina,
- inaceptable la imagen invertida
- los rayos luminosos se cortaban en el interior del ojo dos veces.

## siglo XVI Kepler

- la visión se produce con la formación de una imagen del objeto en la retina.
- ojo humano — sistema óptico :  
lente convergente y pantalla



## Siglo XVII Newton

- luz — corpúsculos que viajan a alta velocidad, sujetos a las leyes de la dinámica
- colores — corpúsculos de distinto tamaño (rojos: grandes ; azules pequeños)
- realiza la descomposición y síntesis de la luz blanca
- observa los "anillos de Newton"

## Siglo XVIII Goethe

- las impresiones visuales son realizadas por un observador
- plantea la contradicción entre las teorías físicas absolutas del color (Newton) y una concepción psíquica y subjetiva de las sensaciones luminosas

## Siglo XIX Young

luz - fenómeno vibratorio, como el sonido;  
color espectral – longitud de onda

- tres tipos de receptores en el sistema visual: uno sensible al rojo, un segundo al amarillo (cambiado poco después al verde) y un tercero al azul.

## Grassman

establece las leyes básicas de la estructura matemática para la medida del color.

## Maxwell

luz – ondas electromagnéticas que viajan en el éter con velocidad “c”.

- representa los colores por tres números que se pueden representar con un punto en un espacio geométrico.
- determina cuál es la intensidad de componentes primarios tricromáticos para igualar las diversas radiaciones espectrales visibles.

## Helmholtz – König

teoría de la visión de los colores: **existe un estímulo triple generado en la retina que da lugar a la percepción en la corteza cerebral.**

explica anomalías de la visión, la adaptación a la luz, la fatiga visual, las imágenes accidentales, etc.

En el siglo XX, a partir de la primera reunión de la *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE) en 1924, en París, las investigaciones y los descubrimientos se suceden sin interrupción y permiten que el color alcance su estado actual.

# EL PROBLEMA DEL COLOR (I)

- PROPIEDAD DE LOS CUERPOS  
(*color pigmento*)

- las frutillas son rojas
- las aceitunas son verdes
- la naranja es naranja

Los actos visuales nos dan la posibilidad de obtener y entender de manera sencilla información sobre el ambiente, personas, situaciones, etc., **CUANDO HAY LUZ.**

La manera en que se manifiesta el color en la percepción visual, unido a “las formas de las cosas”, hace que lo consideremos como atributo del entorno físico.



Caminando una noche hacia un lugar donde la iluminación apenas alcance, localizamos el área negra de un árbol contra la oscuridad, a unos tres metros de nosotros. Cuando enfocamos una linterna en su dirección y la encendemos, la imagen visual del tronco de un olmo aparece «ante nosotros». Físicamente, la luz emitida desde la linterna ha alcanzado la superficie del árbol en una cienmillonésima de segundo; parte de su energía ha sido absorbida por la corteza vegetal y el resto de luz ha incidido sobre nuestros ojos, reflejada desde allí, en otra cienmillonésima de segundo. La percepción humana del tiempo identifica ese breve lapso con la inmediatez, lo cual hace que *el sentido común* dictamine: «La apariencia visual de las cosas —color incluido— está en ellas, en la oscuridad, esperando recibir luz para ser percibida.»





## EL PROBLEMA DEL COLOR (II)

- PROPIEDAD DE LA LUZ  
(*color luz*)

- la luz blanca se descompone en luces de  
*colores*

- cada *color* del espectro corresponde a una banda estrecha de longitudes de onda



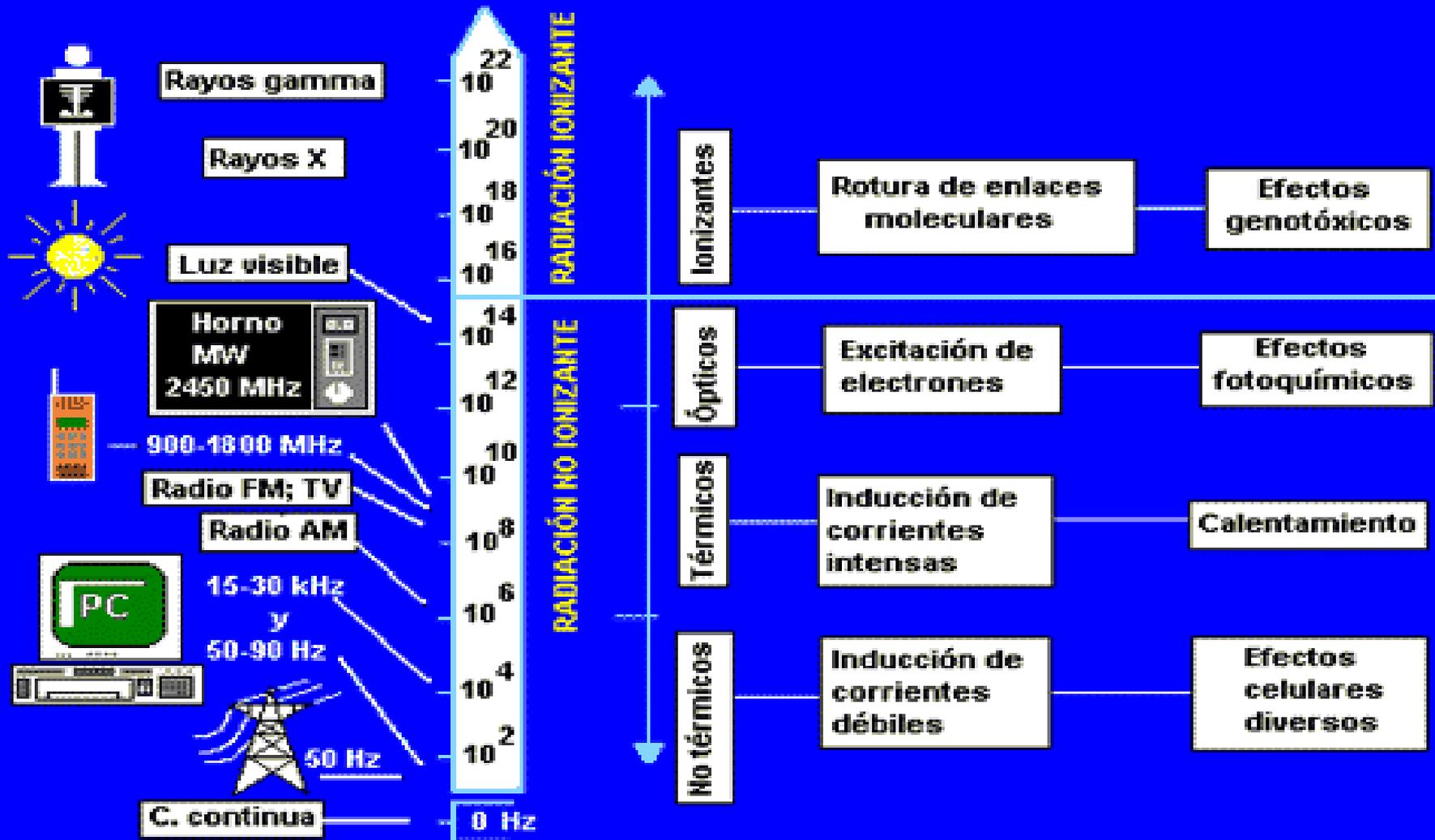
Las diferentes bandas de longitudes de onda del EEM que nuestro sistema visual detecta, son interpretadas por nuestro sistema visual como colores diferentes.

Mezclas en intensidades adecuadas de dos o más bandas son interpretadas como si correspondieran a una banda diferente a las anteriores (amarillo) o *colores* inexistentes en el espectro (ocres, blanco)

# FUENTES

# Frecuencia en Hz

# BIOEFECTOS

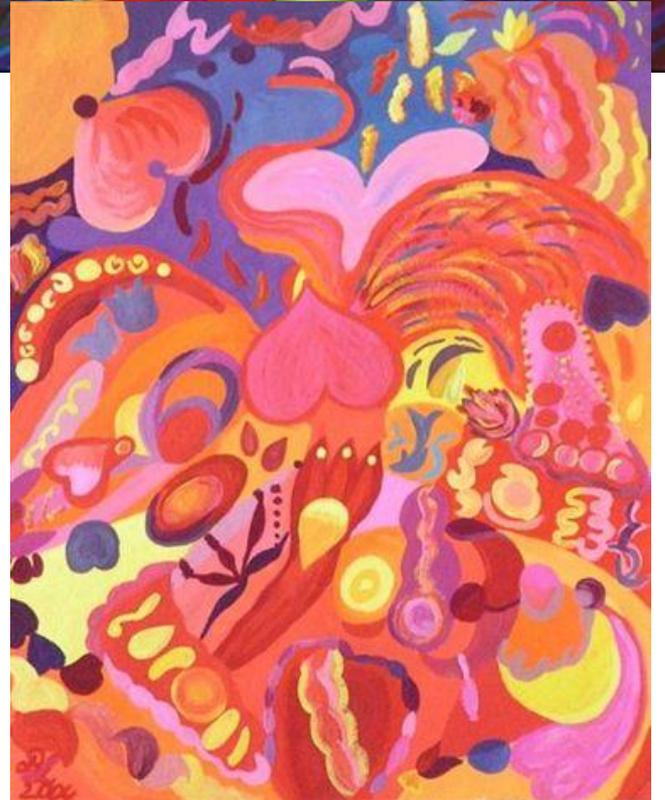
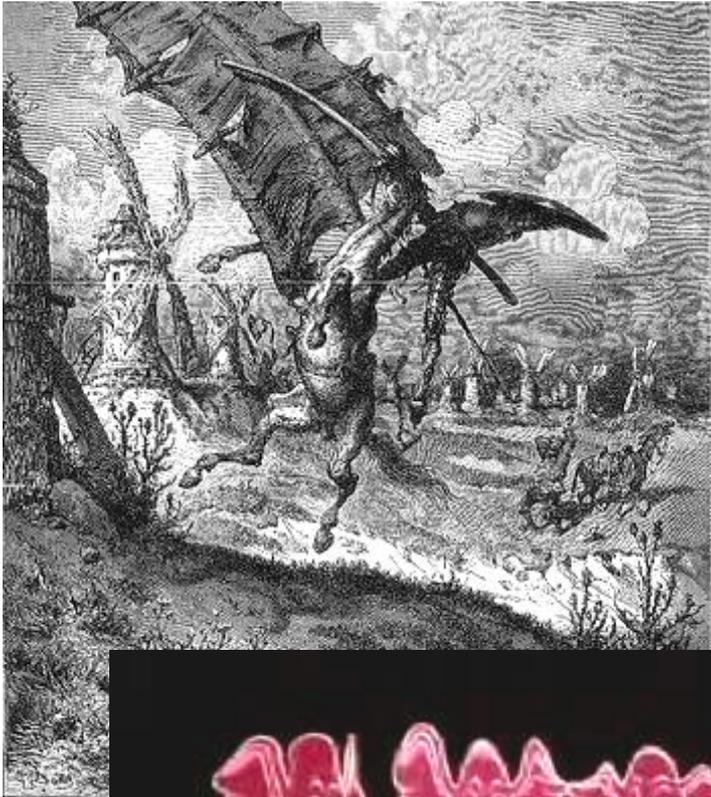


## EL PROBLEMA DEL COLOR (III)

- PERCEPCIÓN **color**
  - se pueden ver **colores** y formas sin estímulo luminoso: sueños en **colores**, alucinaciones, “ver las estrellas”
  - el **color** sugiere conceptos, significados, sensaciones, emociones

La visión, y en particular la visión del color, es un proceso sicofisiológico desencadenado normalmente por la incidencia de la luz sobre la retina. El estímulo luminoso es transmitido y procesado de una manera compleja por el sistema visual.

En el proceso que genera el **color** se producen conexiones con otras funciones síquicas como la atención, memoria, sensaciones, percepciones, comportamiento, etc.



El color es una producción de la mente. No existe fuera de ella.  
Es un acontecimiento síquico, subjetivo.

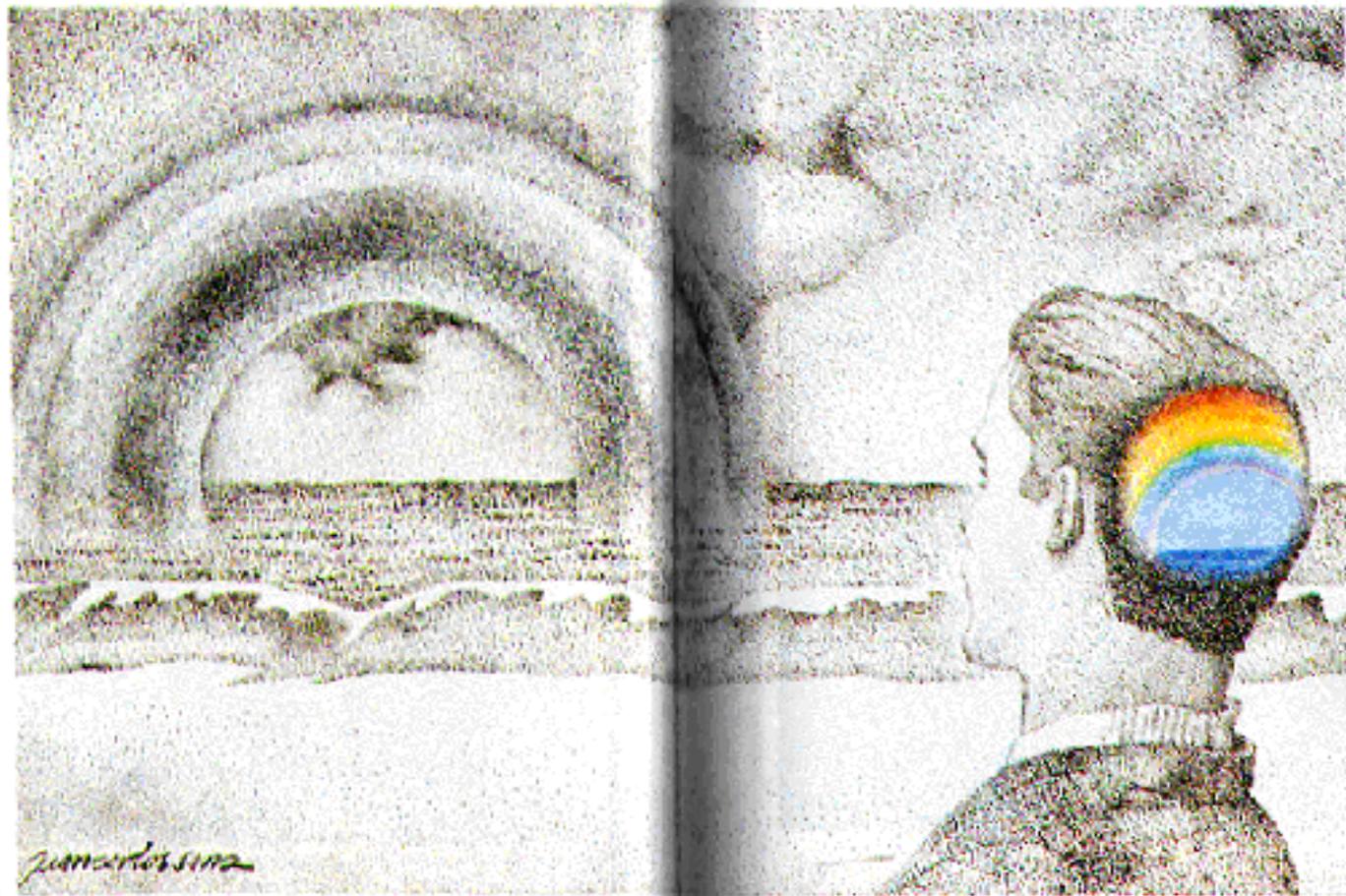
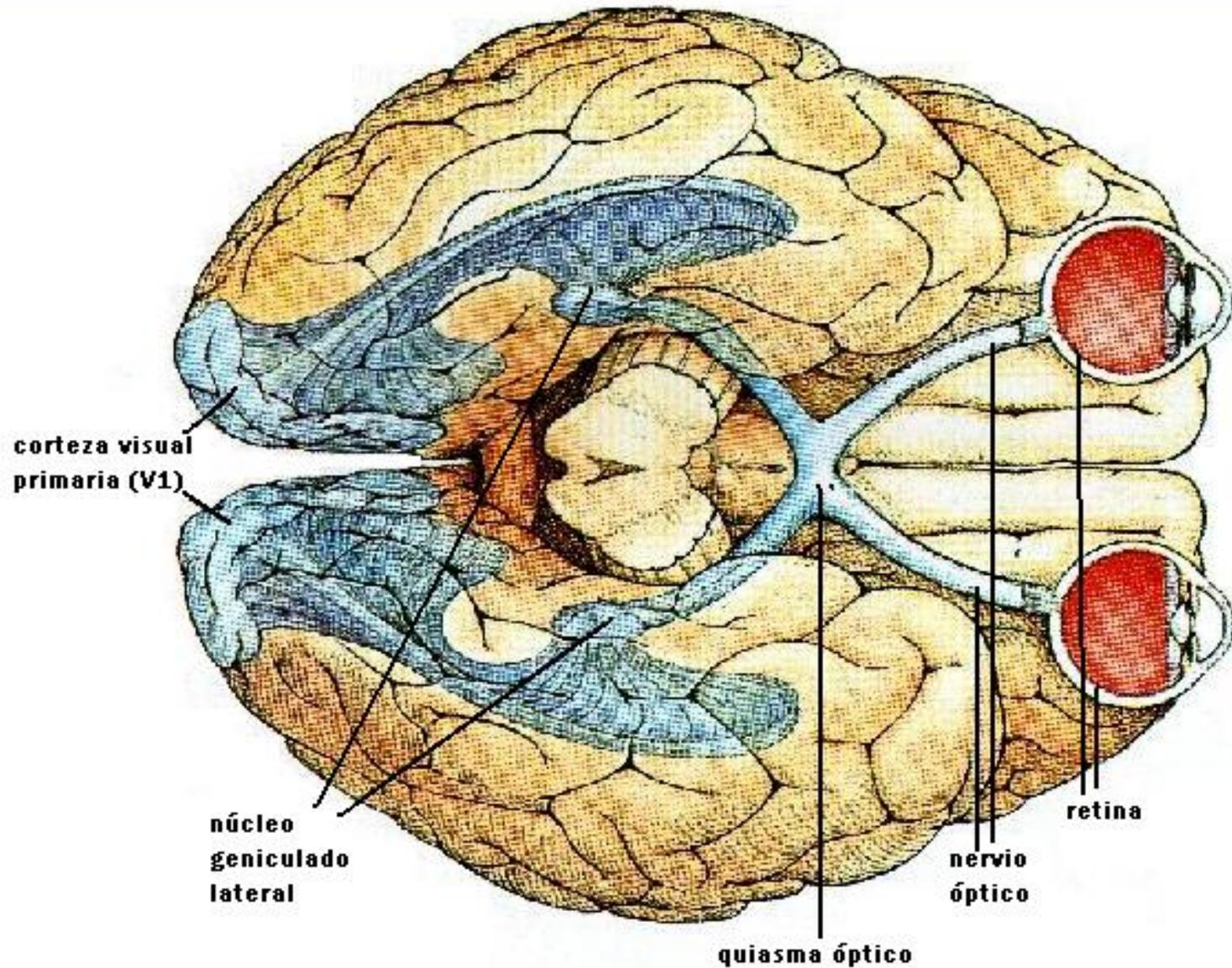
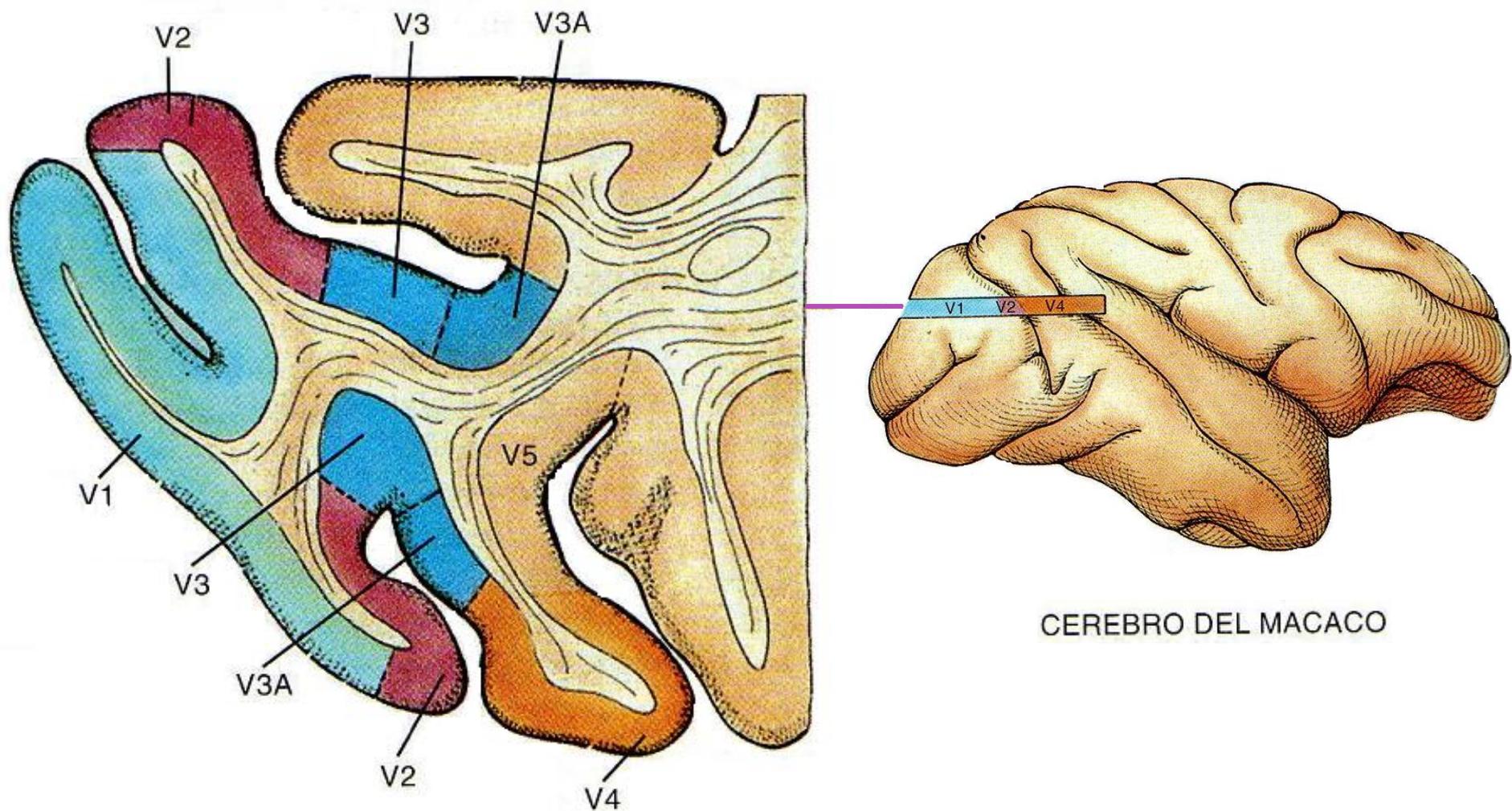


Figura 28. Los rayos de luz solar que inciden sobre la superficie de los ojos por ellas — a través de la reflexión interna — hacia los conos del observador. La intensidad de estos haces de luz es el estímulo visual para la sensación de color. La intensidad de estos haces de luz es el estímulo visual para la sensación de color.

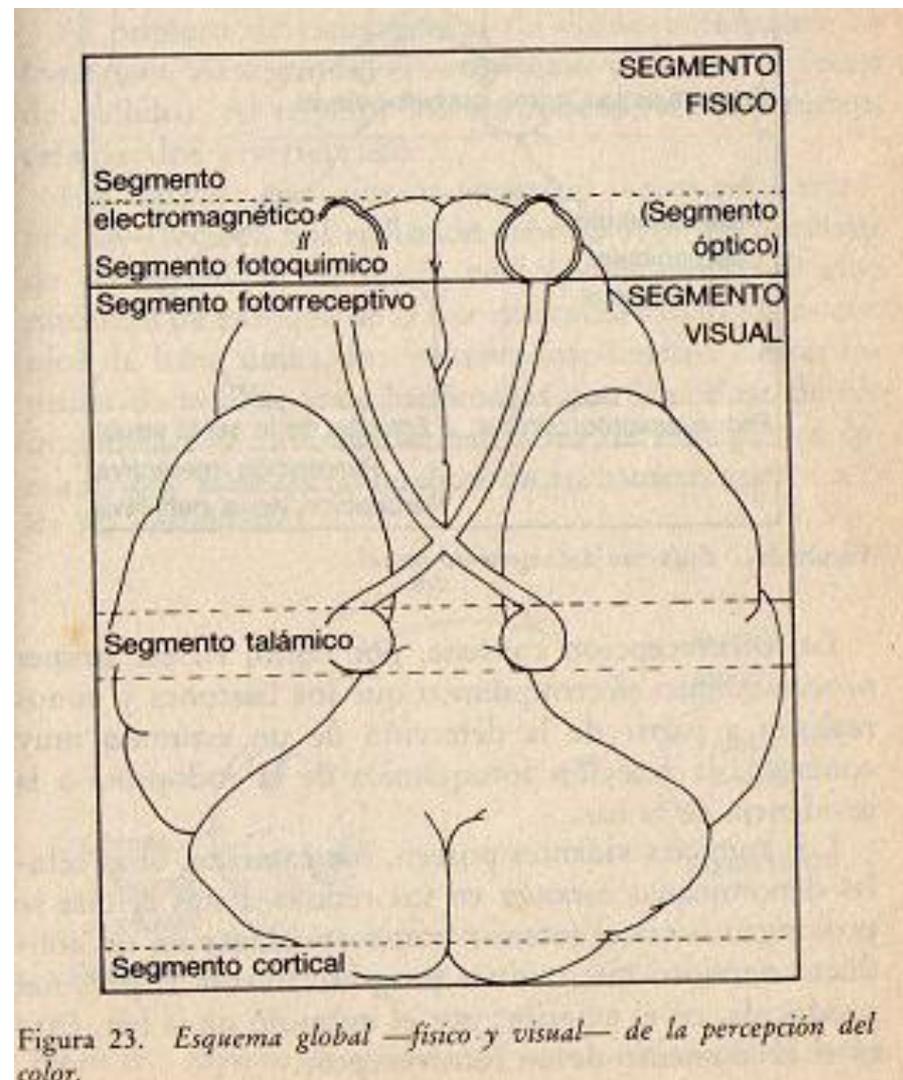
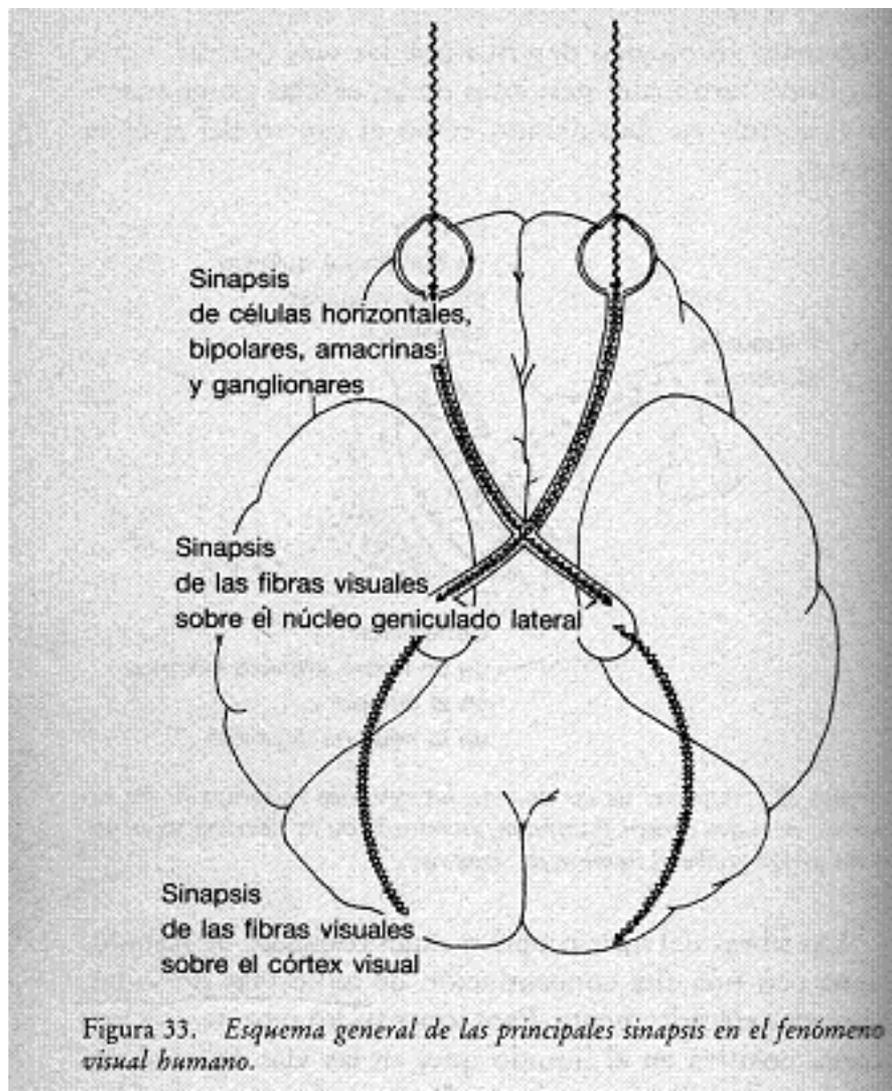
## DIVISIONES ANATÓMICAS Y FUNCIONALES DEL SISTEMA VISUAL



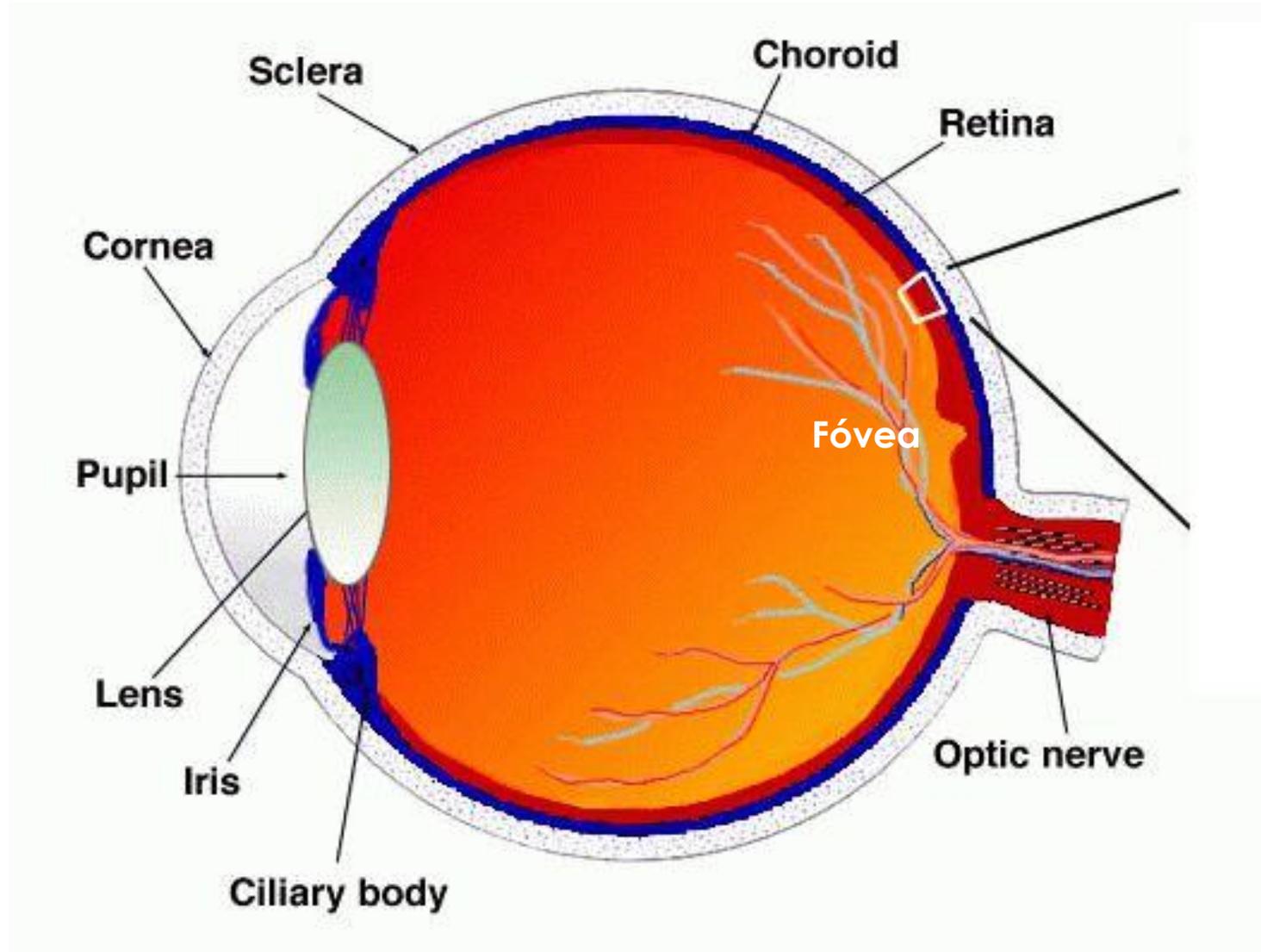


CEREBRO DEL MACACO

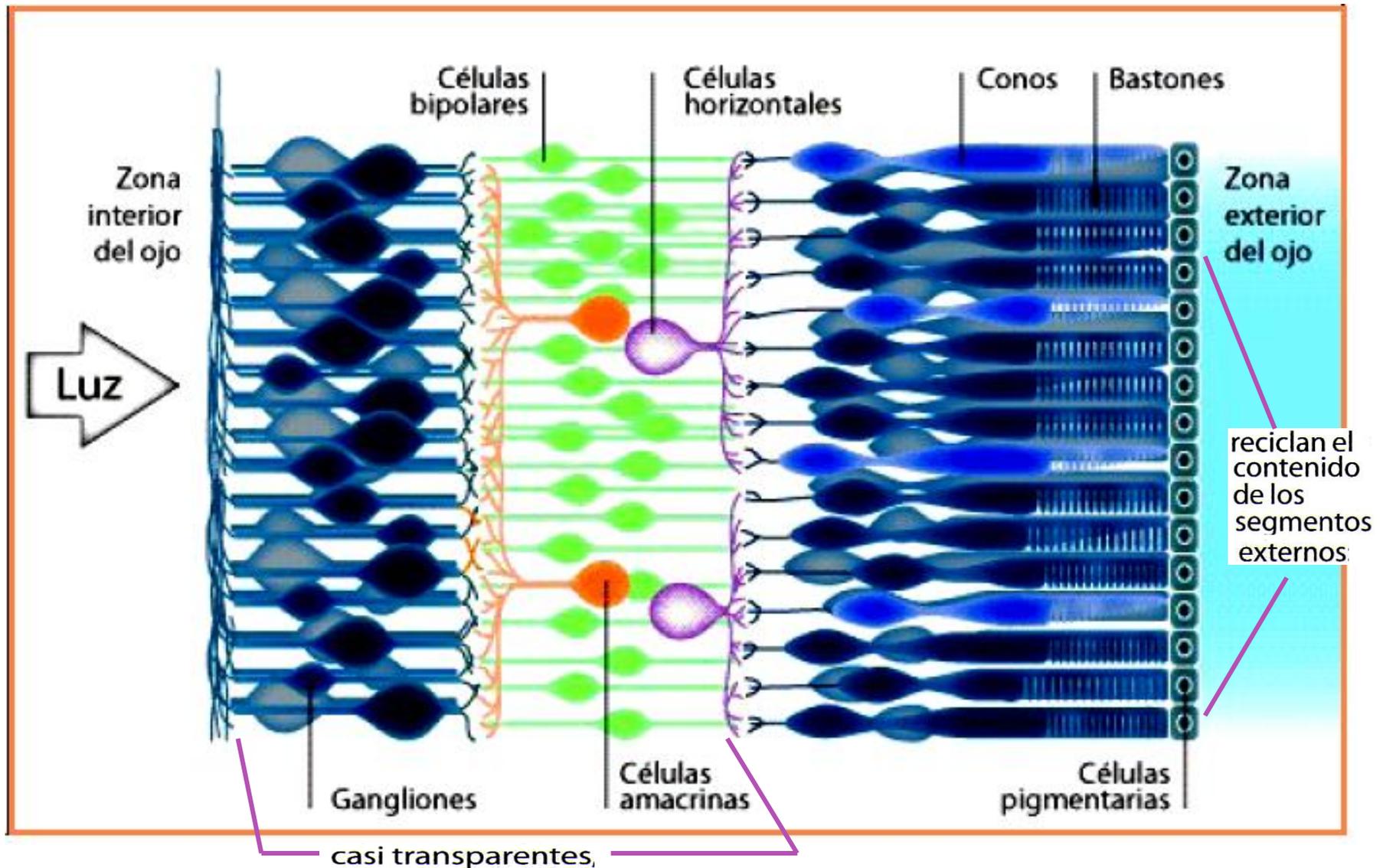
**CORTEZA VISUAL** del macaco. Una sección transversal del cerebro (*izquierda*) efectuada al nivel indicado (*derecha*) muestra parte de la corteza visual primaria (V1) y algunas otras áreas visuales de la corteza preestriada (V2-V5).



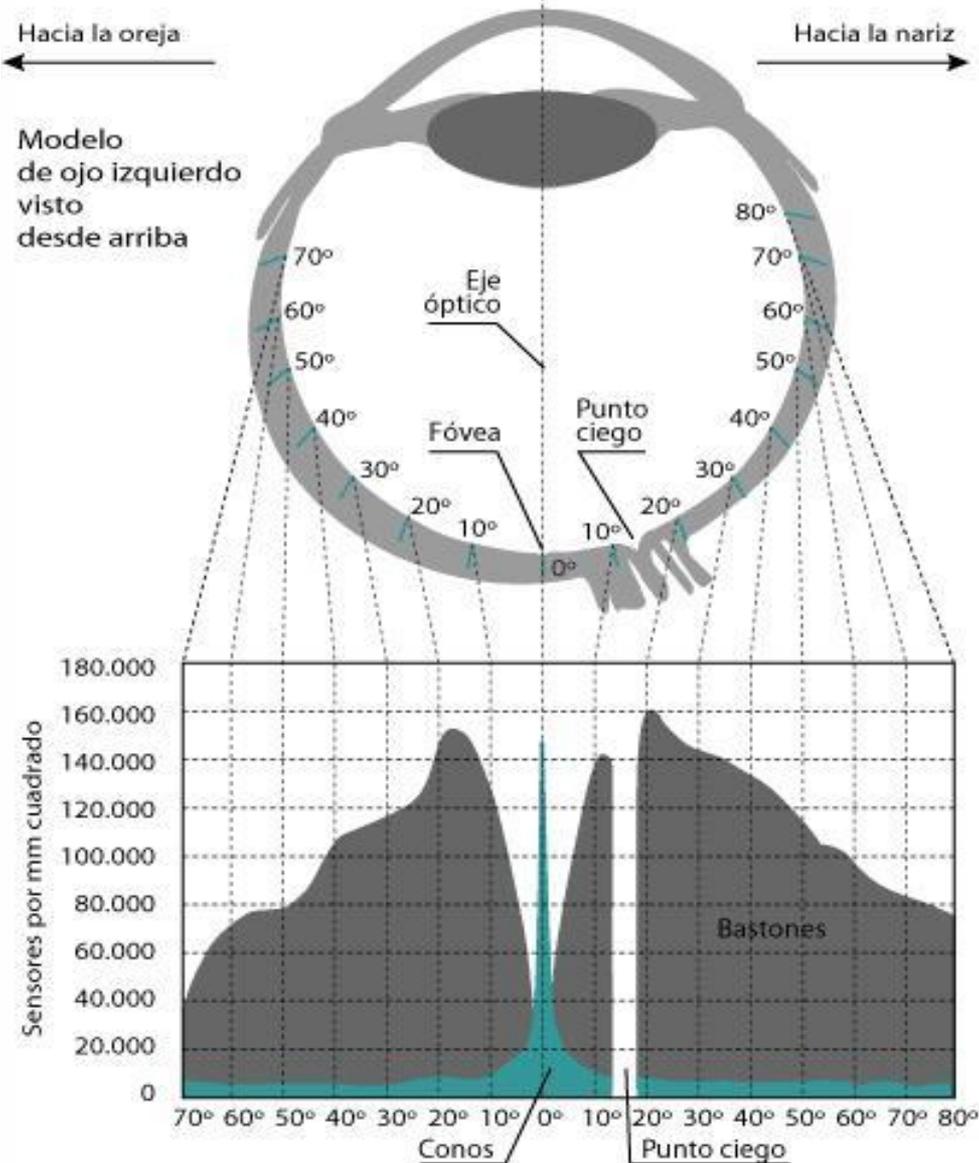
# ESQUEMA ANATÓMICO DEL OJO HUMANO



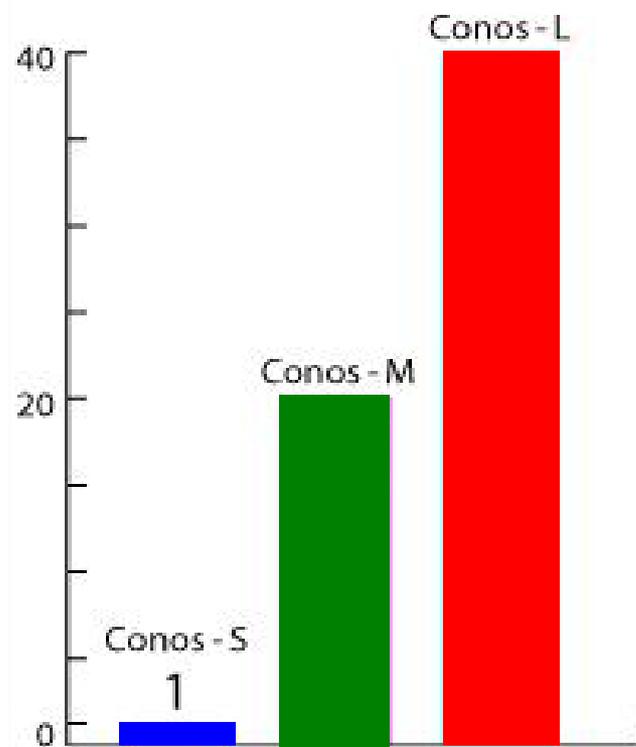
# CONOS Y BASTONES EN LA RETINA



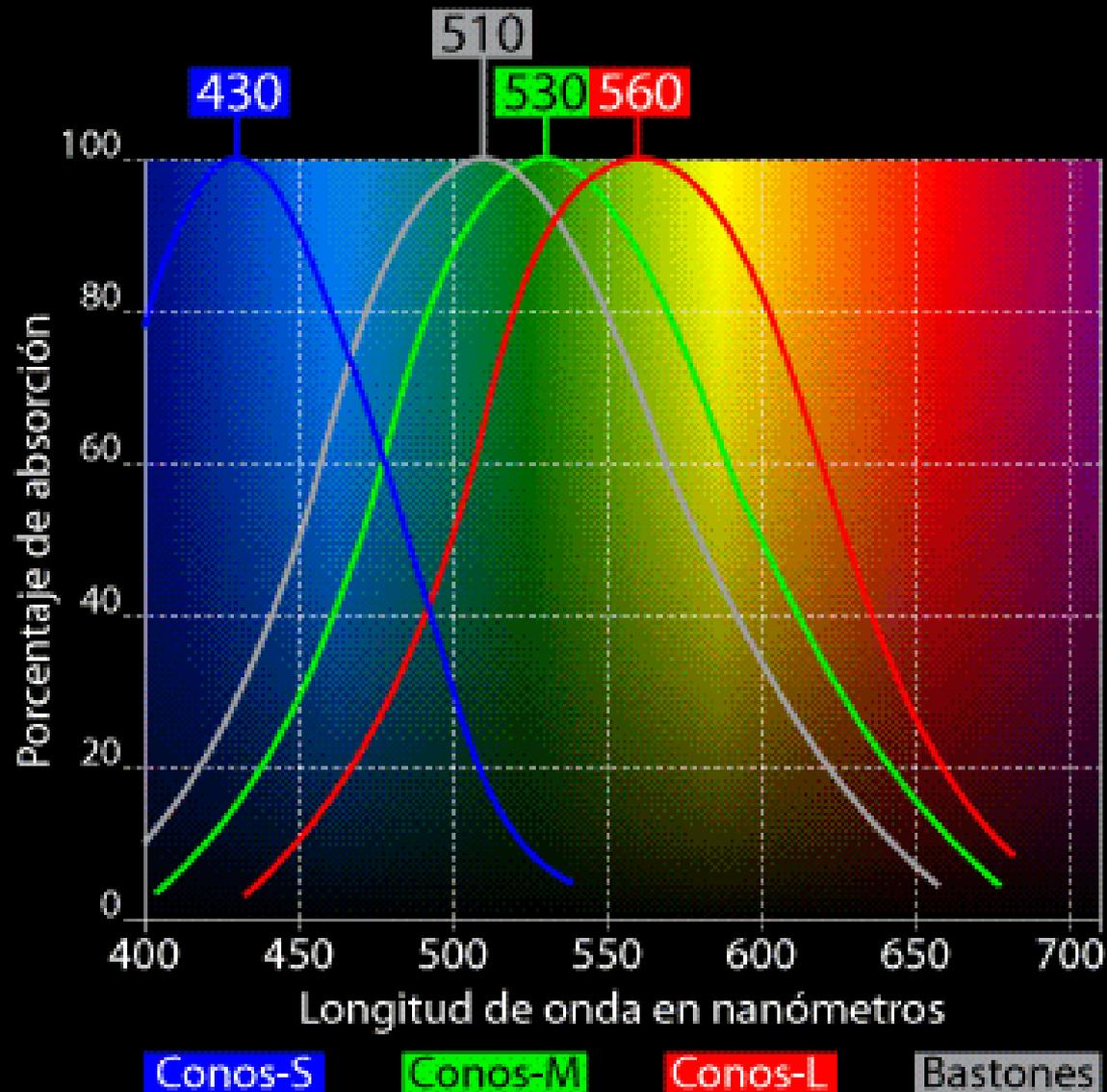
## Distribución de conos y bastones en la retina según ángulo visual



## Distribución proporcional de los conos en la retina humana

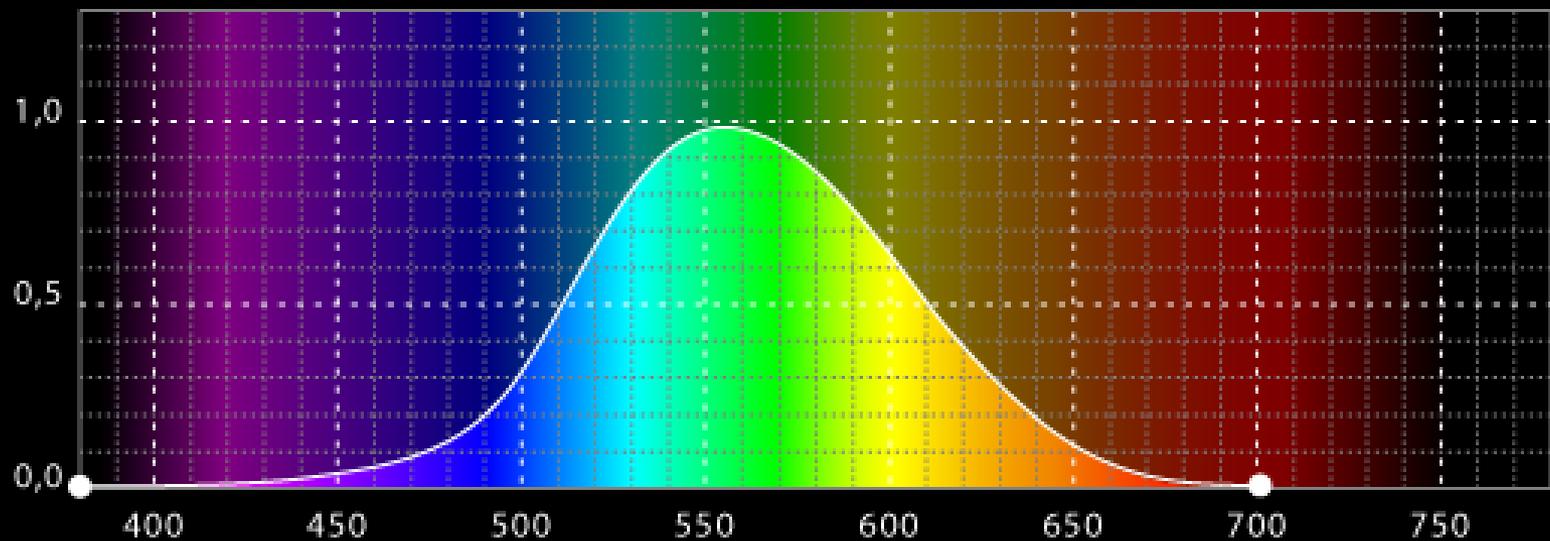


# Absorción óptima de conos y bastones por longitud de onda



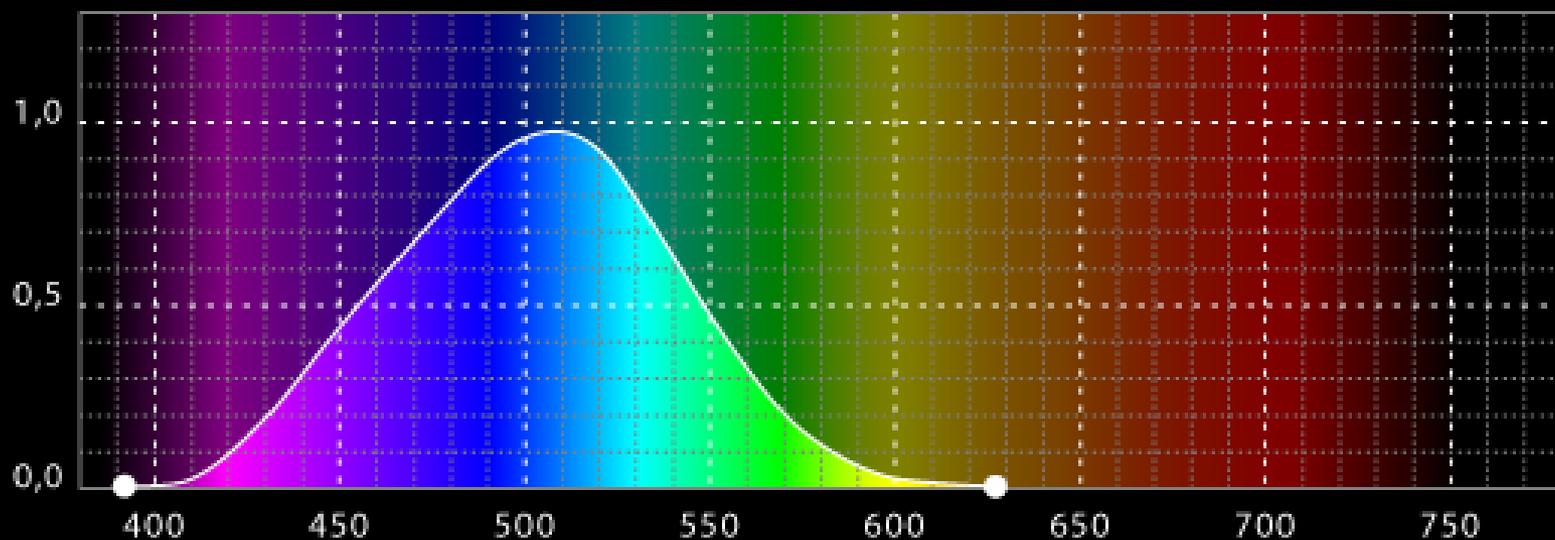
C  
O  
N  
O  
S

Curva espectral de eficiencia luminosa para la visión fotópica  $V(\lambda)$

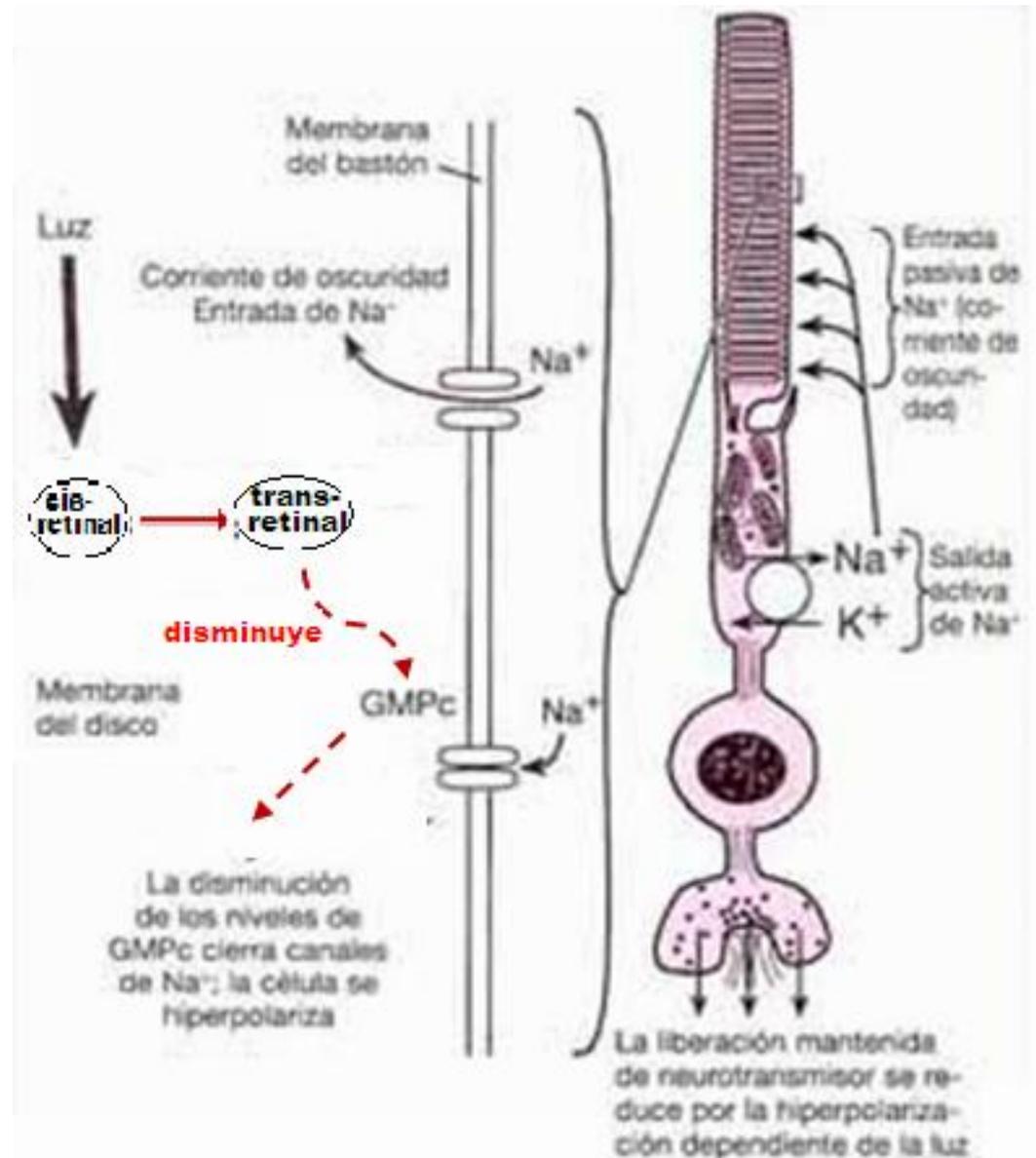
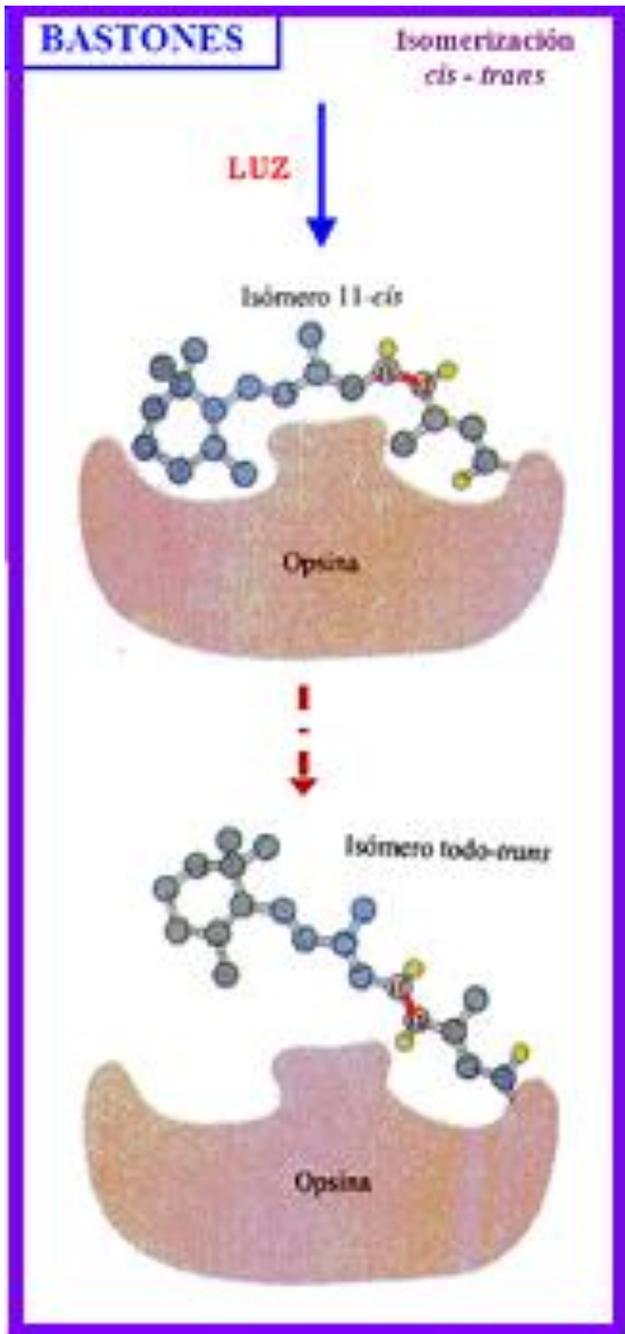


B  
A  
S  
T  
O  
N  
E  
S

Curva espectral de eficiencia luminosa escotópica  $V'(\lambda)$



# Fotoquímica de la visión

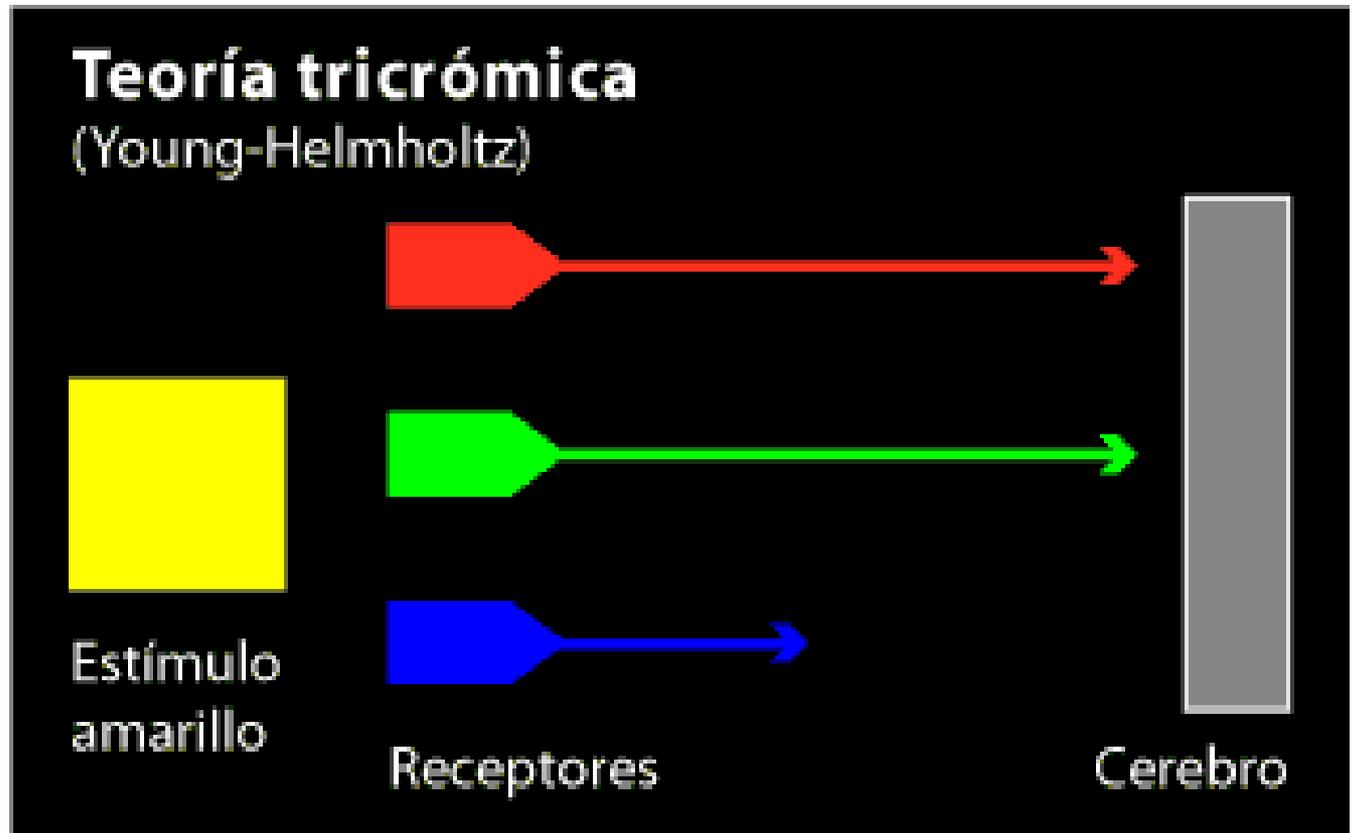


# TEORÍAS DE LA VISIÓN DEL COLOR

- Como la retina contiene cuatro tipos de sensores, se podría creer que las conexiones neuronales llevan cuatro tipos de señales al cortex visual primario
- La teoría más extendida es que las estructuras neuronales retinales y postretinales codifican y procesan la información del color en sólo tres clases de señales, a las que se suele llamar canales (*channels*)
- Conceptualmente, un canal es una ruta de este procesamiento. Por eso, en lo que respecta al sistema visual, podemos decir que la información de los conos se procesa en tres canales separados.
- Hay otros canales responsables de proporcionar otras informaciones sobre el mundo exterior que permiten la percepción de la forma, movimiento y distancia, por ejemplo.
- La existencia de canales para el procesamiento de la información del color ayudan a explicar las dos teorías contradictorias sobre la visión del color que prevalecieron en el siglo XIX:
  - La teoría tricrómica (o tricromática: *trichromatic theory*)      Young-Helmholtz
  - La teoría de los procesos opuestos (*opponent colours theory*).      Hering

La teoría del color **Young-Helmholtz** se formó sobre la idea de que existían tres clases de receptores (aunque no hubo pruebas de ello hasta 1964, cuando se obtuvo la imagen microscópica de las células cono del ojo). Las raíces de la teoría tricrómica se hunden firmemente en la **fase receptiva de la visión del color**.

La mayoría de los colores se podían igualar superponiendo tres fuentes de luz separadas conocidas como (*colores*) primarios, un proceso conocido como mezcla aditiva (*additive mixing*).



La **teoría de los procesos opuestos de la visión en color** fue propuesta por **Hering**, para poder explicar los fenómenos que no se podían explicar adecuadamente con la teoría tricrómica.

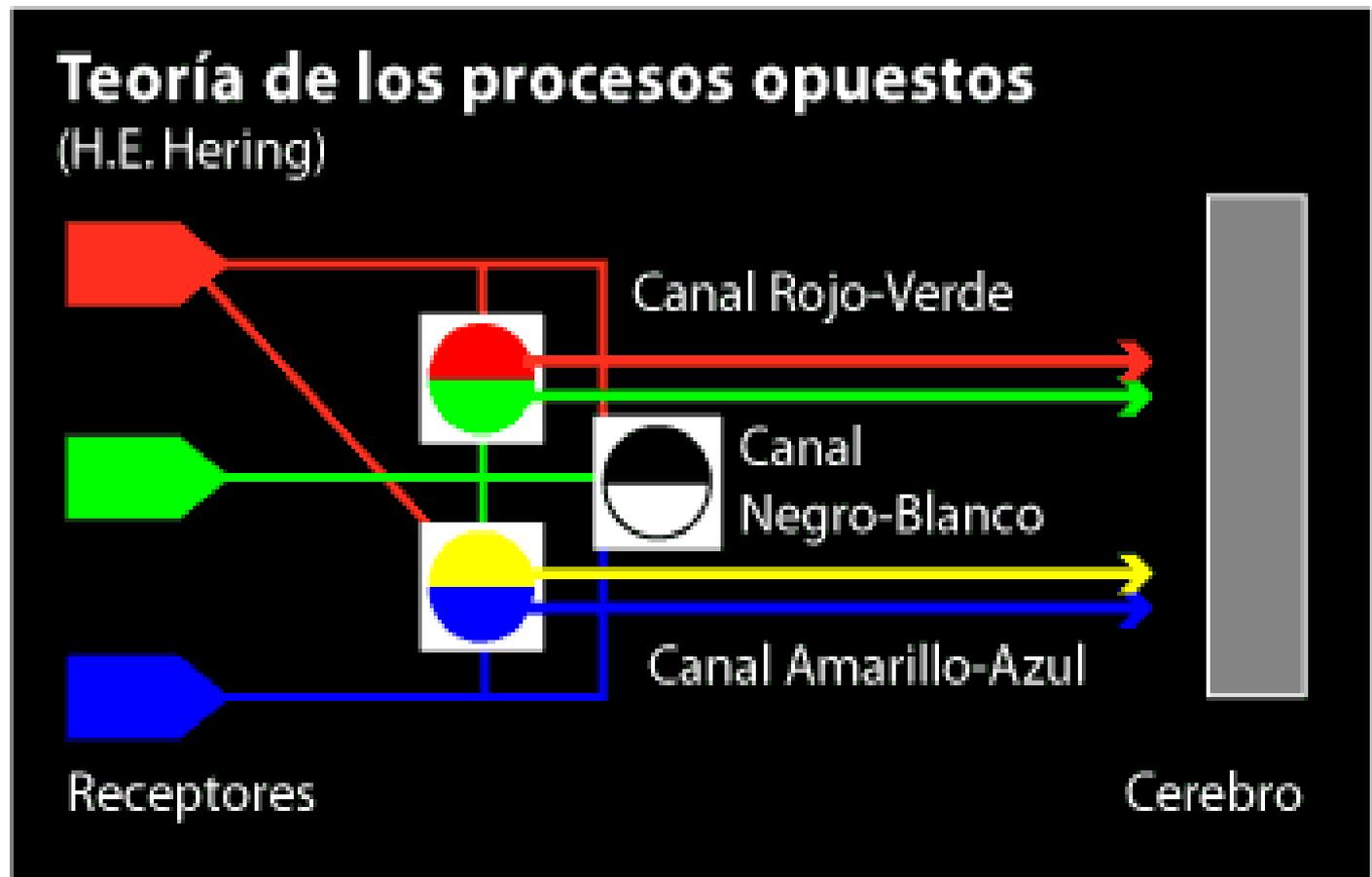
Un ejemplo de esos casos son las llamadas **imágenes fantasmas o post imágenes**. Otro es el hecho, contrario a la intuición, de que la mezcla aditiva de luces rojas y verdes de cómo resultado amarillo y no una especie de verde rojizo y porqué existen **psicológicamente** cuatro colores primarios: rojo verde, amarillo y azul, y no sólo tres.

PARES DE SEÑALES  
OPUESTAS

AMARILLO - AZUL,

ROJO -VERDE

Propuso la existencia de una oposición blanco-negro - **canal de luminancia**- idea abandonada en las versiones más modernas de la teoría.



En la actualidad, se acepta que la teoría **tricrómica** y la de los **procesos opuestos** describen características esenciales de la visión humana en color,

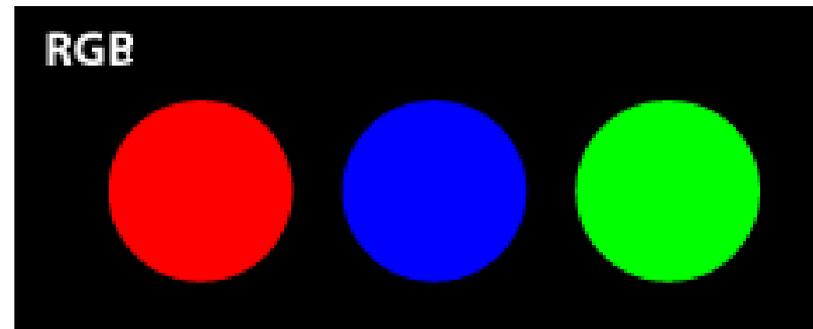
y que la segunda describe las **cualidades perceptuales** de la visión en color que se derivan del **procesamiento neurológico de las señales de los receptores**

# PRIMARIOS ADITIVOS

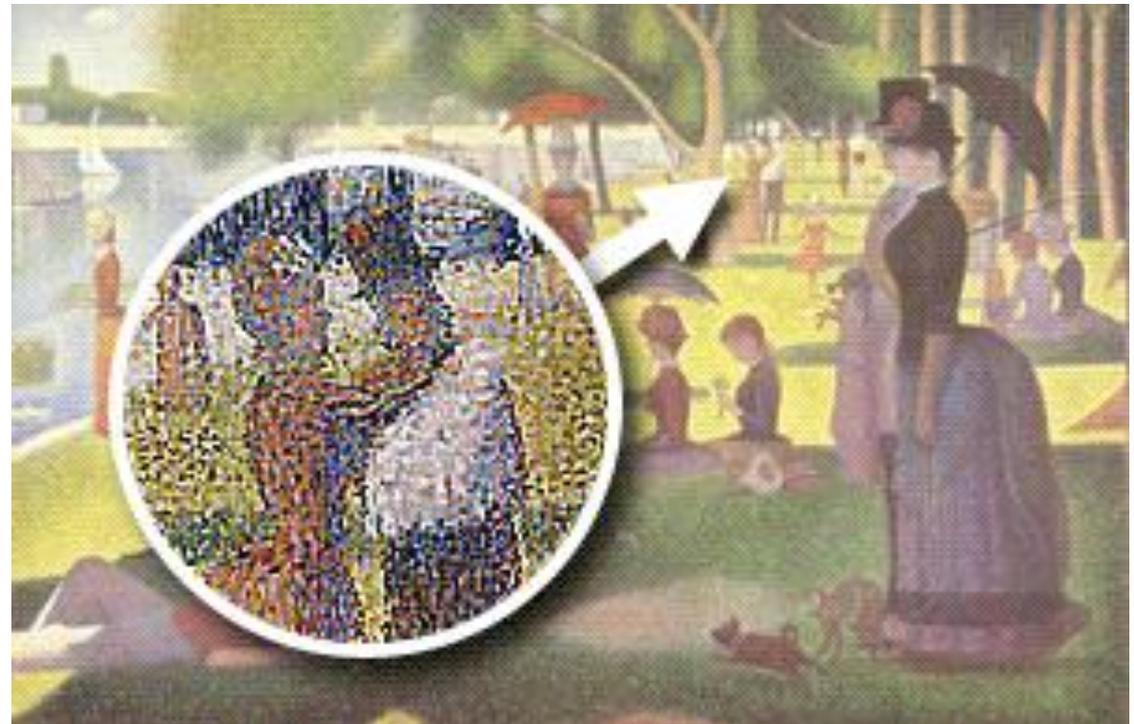


# La síntesis aditiva se puede dar en el espacio ...

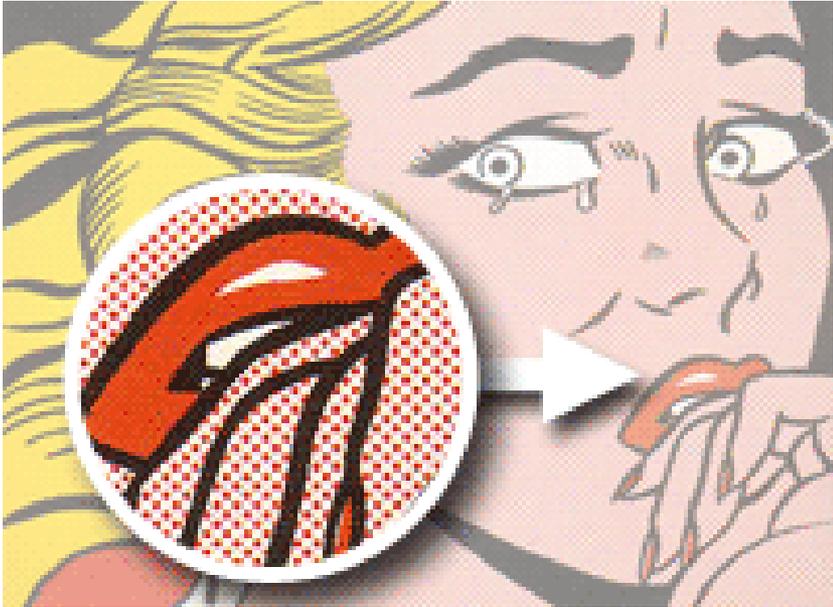
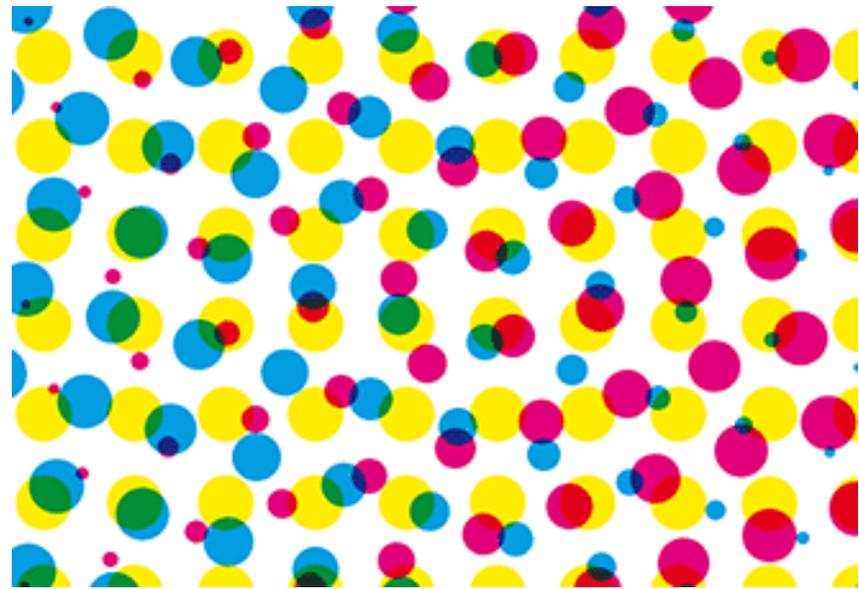
**TV, Monitores .**  
Los píxeles de la pantalla son individualmente indistinguibles



**Puntillismo**  
(fin del siglo XIX  
impresionismo  
francés ),  
pintaban poniendo muy  
juntos (pero no  
superponiendo) puntos  
de color



...o en el tiempo

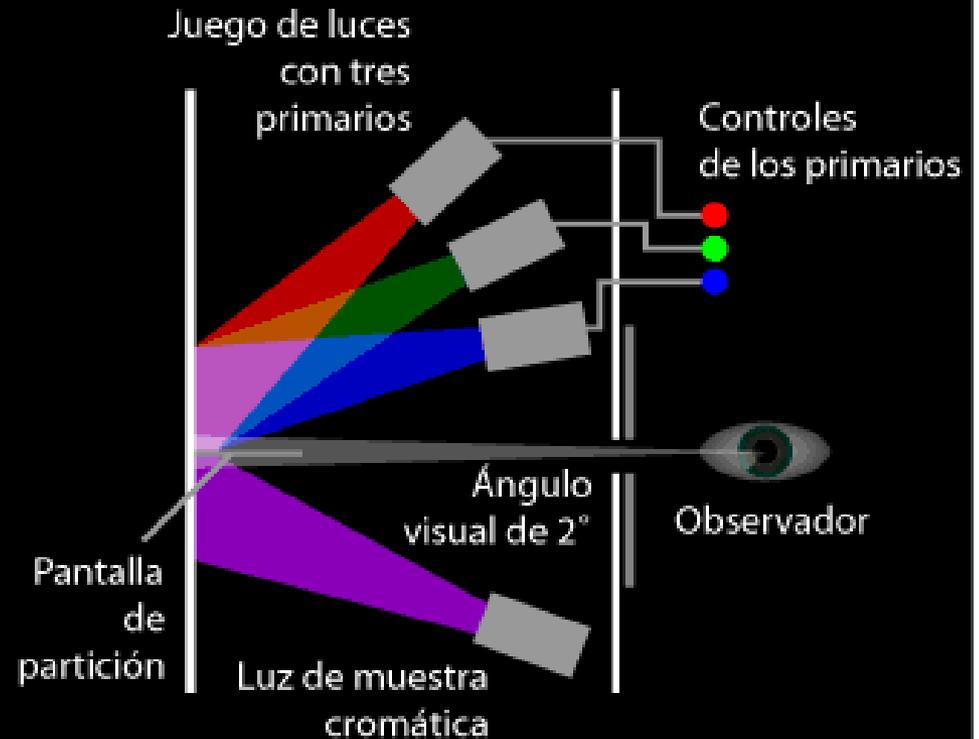


**“COMPOSICIÓN”  
DEL ESTÍMULO  
LUMINOSO QUE  
PRODUCE LOS  
DIVERSOS  
COLORES**

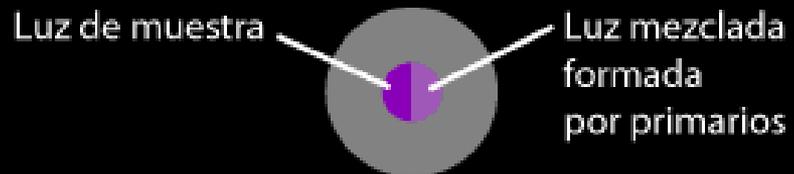
Los tres estímulos primarios se mezclan en una zona y el observador percibe un color determinado.

Modificando la intensidad de cada uno de los estímulos primarios que alcanzan la otra zona, puede hacer que los colores de ambas partes del círculo se vean iguales ... *para él*

**Experimento de correspondencia de colores mediante mezcla aditiva**

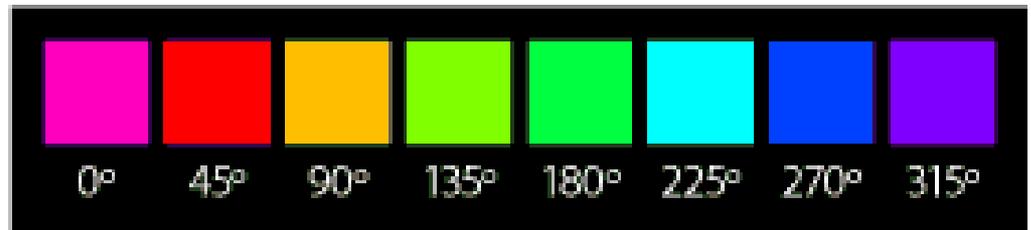
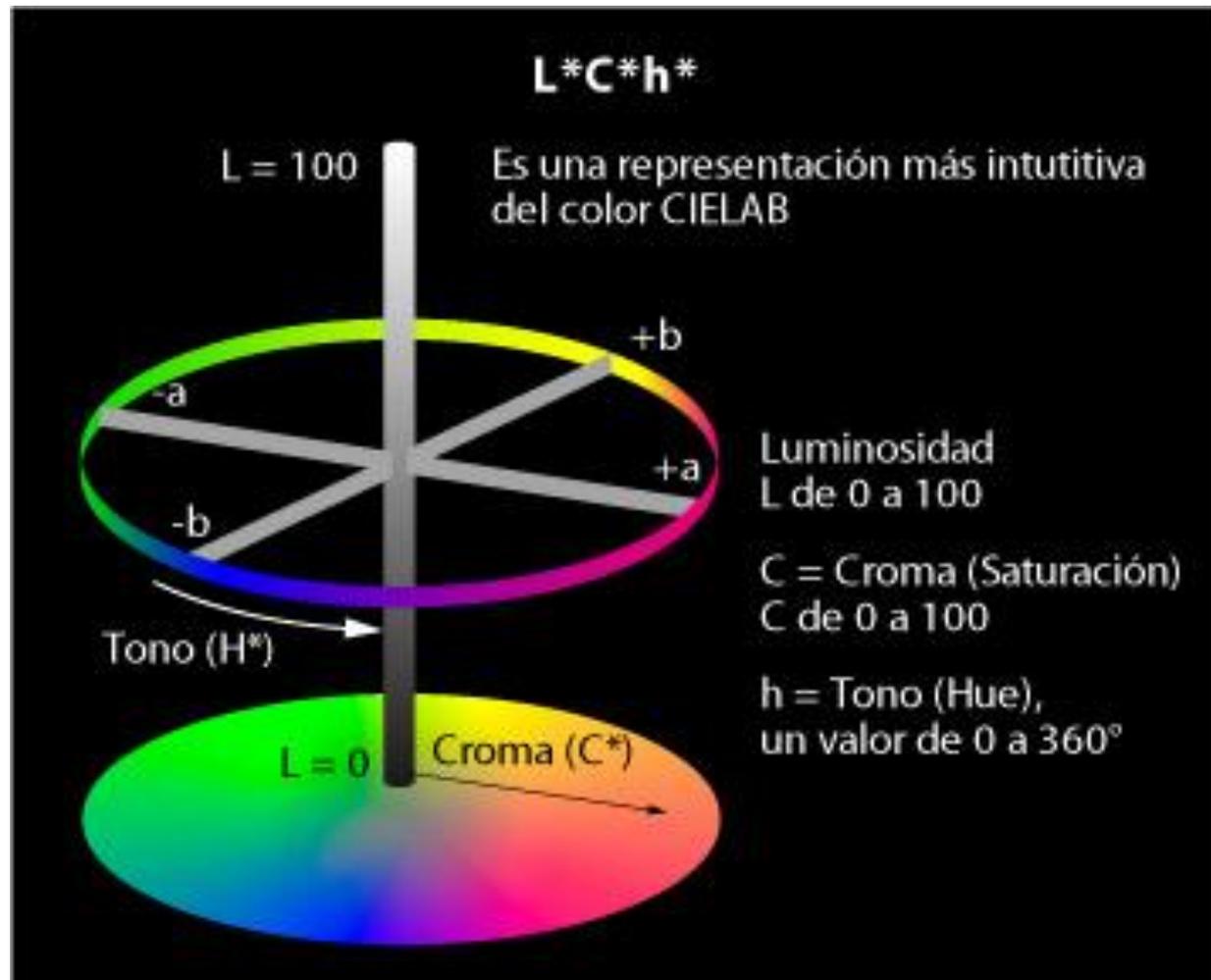


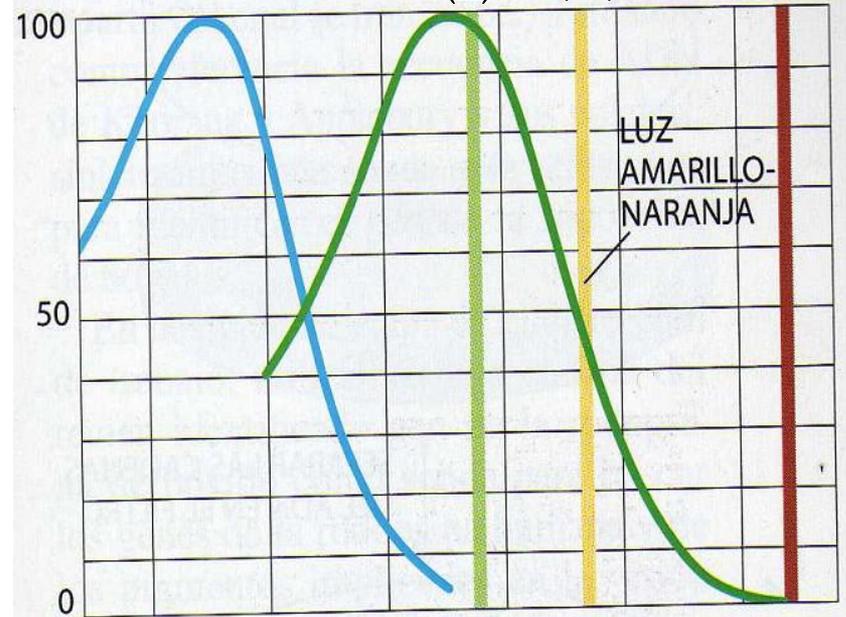
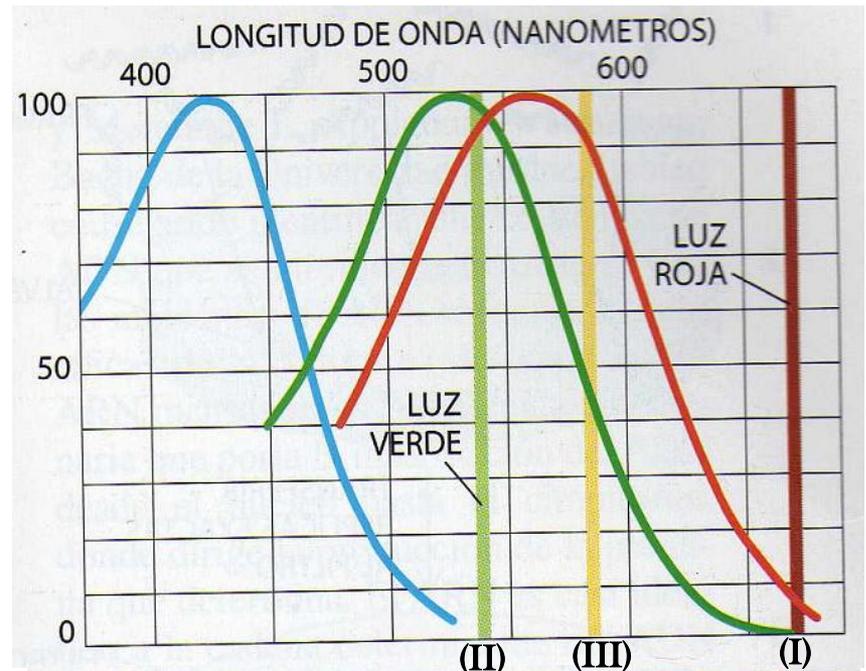
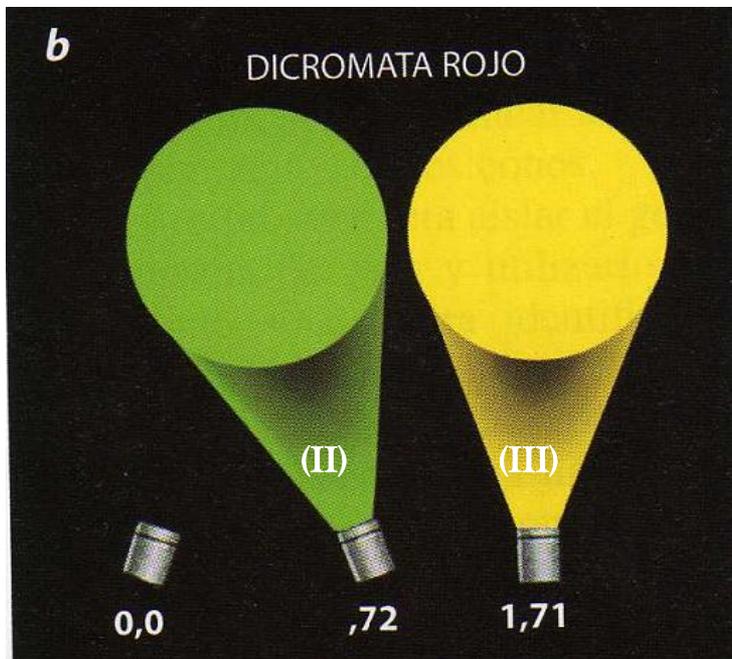
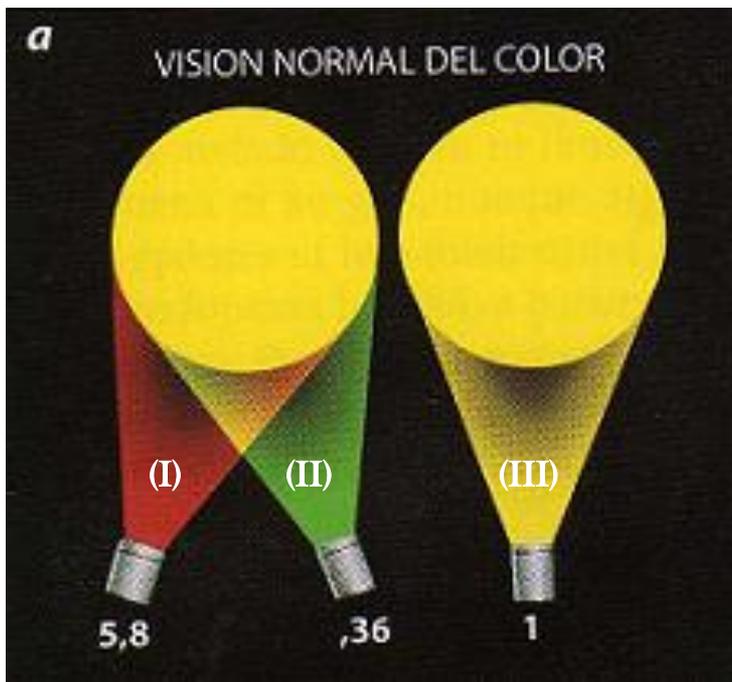
Lo que ve el observador (Ambas mitades deben parecer iguales)



## El espacio de color $L^*C^*h$

Los tonos correspondientes a los distintos ángulos de matiz o tono son aproximadamente los que se muestran





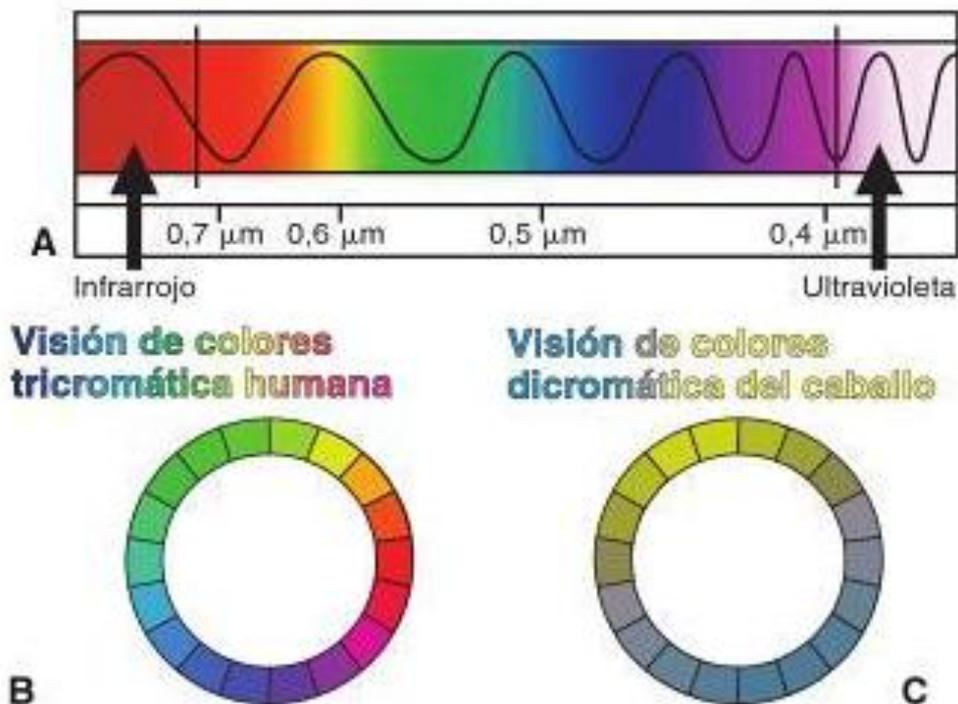


Figura 1-14. Simulación de la ceguera visual y la visión de colores del caballo. Imagen original (A, B). Imágenes modificadas para reflejar la agudeza visual y la visión de colores del caballo (C, D). (De Carroll, J, y cols. [2001]: Photopigment basis for dichromatic color vision in the horse. / *Vis Sci* 1:80.)

**Figura 1-13. A,** Espectro de color y longitudes de onda correspondientes. **B,** y **C,** Diferencia entre la visión de colores dicromática del caballo y la visión de colores normal en humanos. **B,** La rueda de colores representa el espectro de colores percibido por el sistema visual humano tricromático. **C,** La reducción del número de tipos de conos de tres a dos produce visión dicromática y una gran disminución en el número de colores diferentes percibidos. (A de Gilger B [2005]: *Equine Ophthalmology*. Saunders, Filadelfia. B y C de Carroll J, y cols. [2001]: Photopigment basis for dichromatic color vision in the horse. / *Vis Sci* 1:80.)

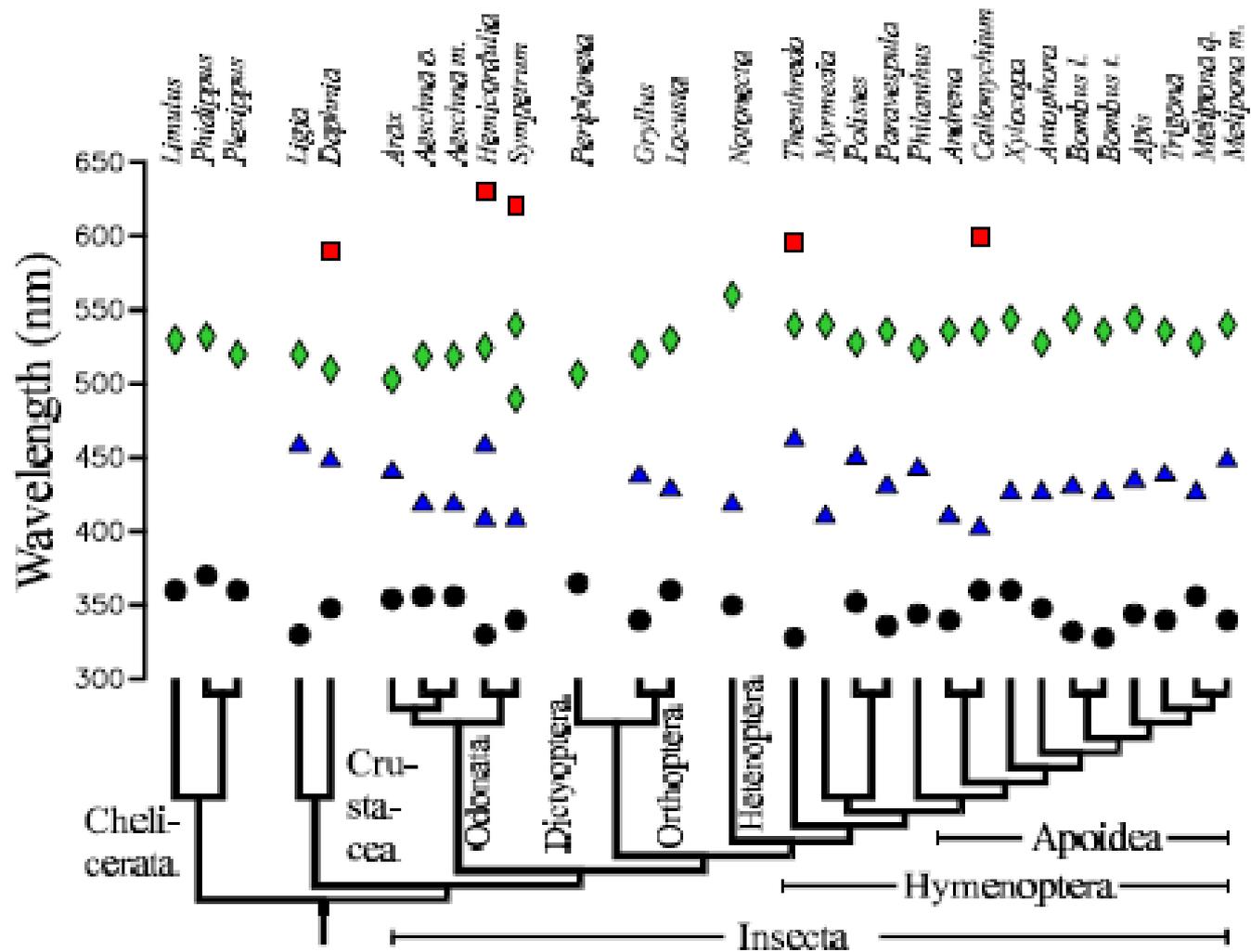
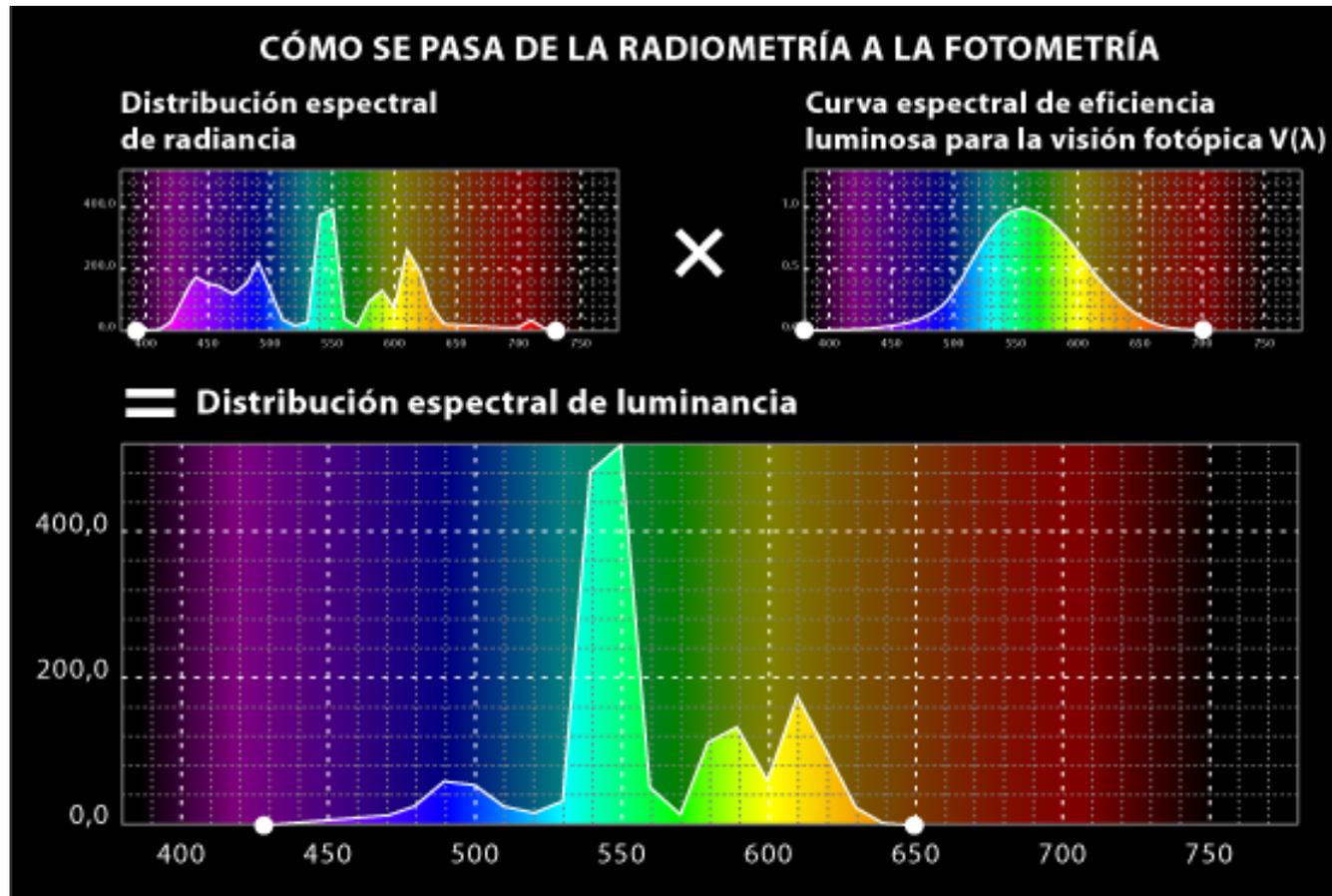
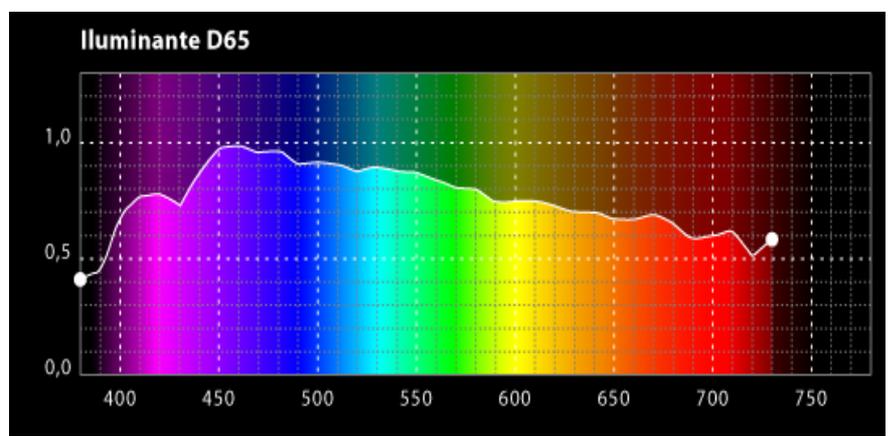
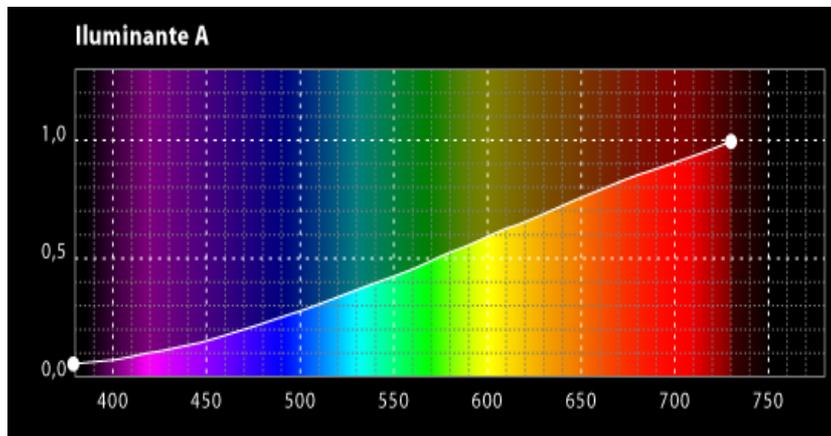


Figura 1: Muestra los valores de  $\lambda_{max}$  en fotoreceptores de 29 especies de artrópodos sobrepuestos al árbol filogenético de esas especies. O - receptores al UV (325-370nm); Δ - receptores al azul (400-460nm); ◇ - receptores al verde (490-560nm); □ - receptores al rojo (590-630). El nombre completo de las especies y una descripción de los resultados y citas originales se encuentra en Chittka (1996a).



Term	Symbol	Defining Equation	Applications	SI Unit
Radiant Flux	$F_e$	$F_e = \frac{\delta Q}{\delta t}$	Specification of the total quantity of light emitted from a source.	watt = joule/sec (W)
Radiant Intensity	$I_e$	$I_e = \frac{\delta F_e}{\delta \omega}$	Specification of the total quantity of light emitted by a point source, in a given solid angle.	watt/ω
Irradiance <sub>e</sub>	$E_e$	$E_e = \frac{\delta F_e}{\delta A_r}$	Specification of density of light incident on a surface or in a given plane.	watt/m <sup>2</sup>
Radiance <sub>e</sub>	$L_e$	$L_e = \frac{\delta I_e}{\delta A_s \cos \theta}$	Specification of the amount of light emitted or reflected from an extended source in a given direction.	watt/ωm <sup>2</sup>

$\delta Q$  is the total energy emitted by a source (in watts)  
 $\delta t$  is the time (in sec)  
 $\delta \omega$  is the solid angle (in steradian) of the source  
 $A_r$  is the surface area of the receiving element  
 $A_s$  is the surface area of the source (in m<sup>2</sup>)  
 $\theta$  is the angle between the given direction and normal to the emitting surface

Term	Symbol	Defining Equation	Applications	SI Unit
Luminous Flux	$F$	$F = K_m \int F_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$	Specification of the total quantity of light emitted from a source.	lumen (lm)
Luminous Intensity	$I$	$I = \frac{\delta F}{\delta \Omega}$	Specification of the total quantity of light emitted by a point source, in a given solid angle.	candela (cd) (lumens/ω)
Illuminance	$E$	$E = \frac{\delta F}{\delta A_r}$	Specification of density of light incident on a surface or in a given plane.	lumens/m <sup>2</sup> (lux)
Luminance <sub>e</sub>	$L$	$L = \frac{I}{\delta A_s \cos \theta}$	Specification of the amount of light emitted or reflected from an extended source in a given direction.	cd/m <sup>2</sup> nit (nt)

$K_m$  is the maximum spectral luminous efficacy  
 $F_e(\lambda)$  is the radial flux at specific wavelength  
 $\delta \Omega$  is the solid angle (in steradian) of the source  
 $A_r$  is the surface area of the receiving element  
 $A_s$  is the surface area of the source (in m<sup>2</sup>)  
 $\theta$  is the angle between the given direction and the normal to the emitting surface

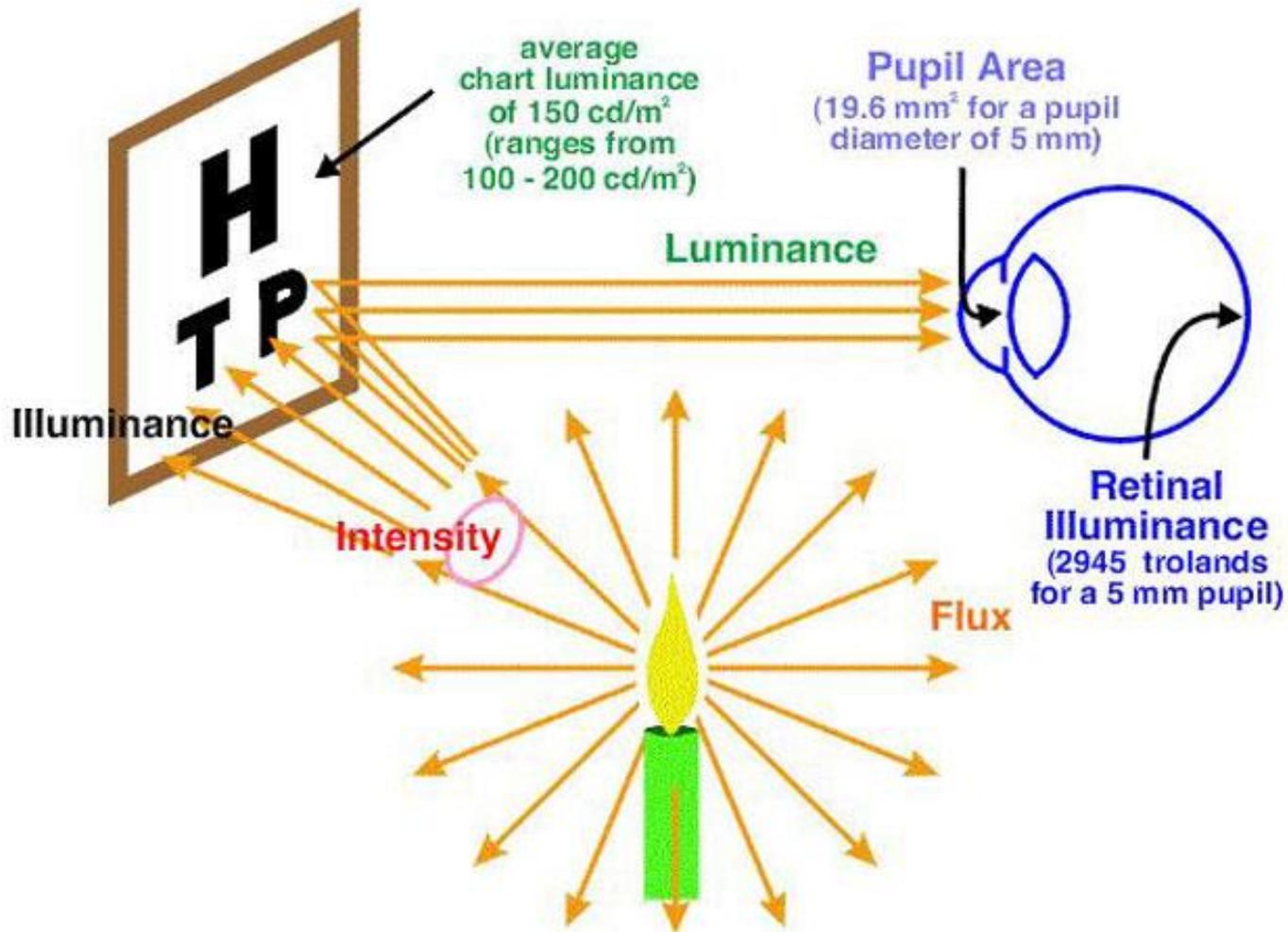


Figure 8. Photometric quantities illustrating flux, intensity, illuminance and luminance. Retinal illuminance of 2945 trolands is achieved through a pupil diameter of 5 mm and a chart luminance of  $150 \text{ cd/m}^2$ .