
Umbral de luminancia absoluto y adaptación visual a la oscuridad

PERCEPCIÓN VISUAL

Tema 5

Profesora María Cinta Puell

Grado Óptica y Optometría



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID

Índice

- Umbral de luminancia absoluto
- Factores que afectan al umbral de luminancia absoluto
 - Superficie del estímulo luminoso: sumación espacial
 - Tiempo de exposición: sumación temporal
 - Longitud de onda del estímulo: intervalo fotocromático
- Adaptación a la oscuridad
 - Curva básica de adaptación a la oscuridad
 - Efecto de la longitud de onda, tamaño y localización del estímulo
 - Bases fisiológicas de la adaptación a la oscuridad
 - Mecanismo bioquímico: regeneración del fotorpigmento
 - Mecanismo neuronal: aumento del tamaño del campo receptor
 - Alteraciones clínicas

Umbral

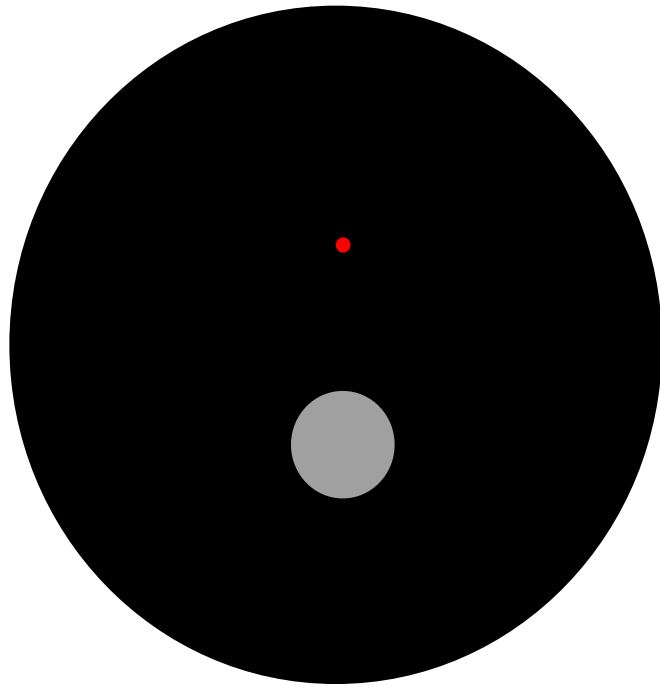
- Umbral absoluto

- La cantidad mínima del estímulo necesaria para su detección.
- Por ejemplo: menor luminancia perceptible

- Umbral diferencial

- Diferencia menos perceptible (luminancia, ...) entre dos estímulos con valores idénticos en los otros parámetros
- También conocido como Diferencia Justamente Notable (JND).

Umbral de luminancia absoluto



ULA: mínima cantidad de luz que se puede detectar

Medida:

Sujeto en completa adaptación a la oscuridad en una habitación oscura

Fijación excéntrica

Presentación puntos de luz

Fotorreceptores implicados: bastones

Medir umbral de luminancia

El color no se percibe en condiciones escotópicas

Energía absoluta mínima

- Destello de luz breve (duración inferior a 0,1 s)
- Esto permite
 - Calcular la mínima cantidad de energía que un observador es capaz de detectar
 - Determinar cuantos fotones debe absorber un sólo fotorreceptor para dar respuesta.

Un flash de luz presentado en la periferia del campo visual es justamente detectado por sujetos adaptados a la oscuridad cuando en la cornea inciden aproximadamente **50 a 150 fotones.**

Cantidad de fotones mínima

Luz de 507 nm

50 – 150 fotones emitidos

-50% pérdidas por reflexión, dispersión y absorción

25 – 75 fotones retina

Sí la absorción de la rodopsina es del 20%

Se absorben 5 -15 fotones

10% del total de fotones incidentes en la córnea

Estímulo mínimo: 11 fotones que estimulan a su vez 11 bastones simultáneamente (es improbable que un bastón reciba más de 1 fotón)

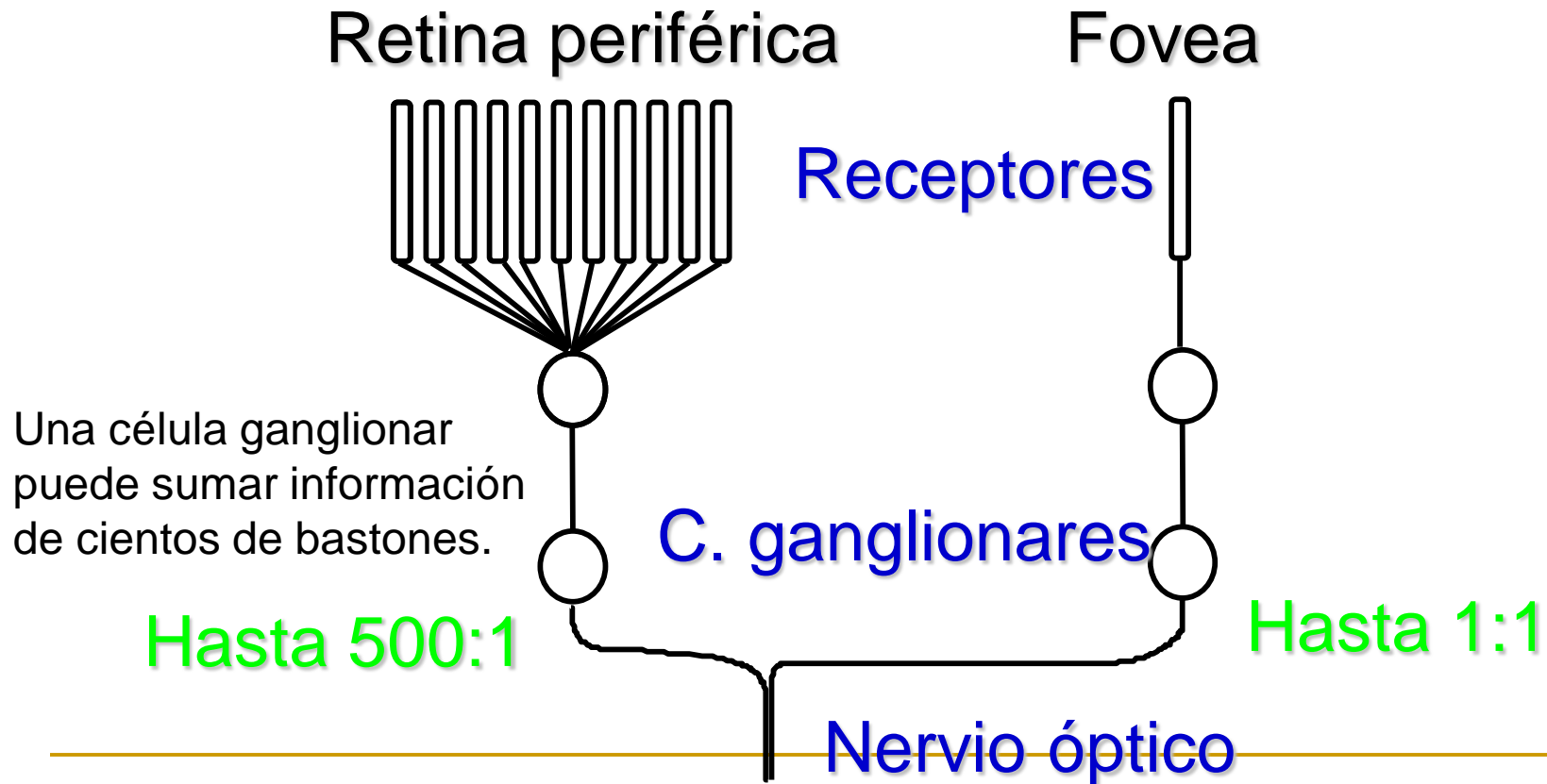
La activación de 11 bastones es suficiente para activar una célula ganglionar y que se detecte el estímulo.

Factores que afectan al umbral de luminancia absoluto

- Superficie del estímulo luminoso
 - Sumación espacial
- Tiempo de exposición
 - Sumación temporal
- Cromaticidad del estímulo
 - Intervalo fotocromático
- Adaptación visual

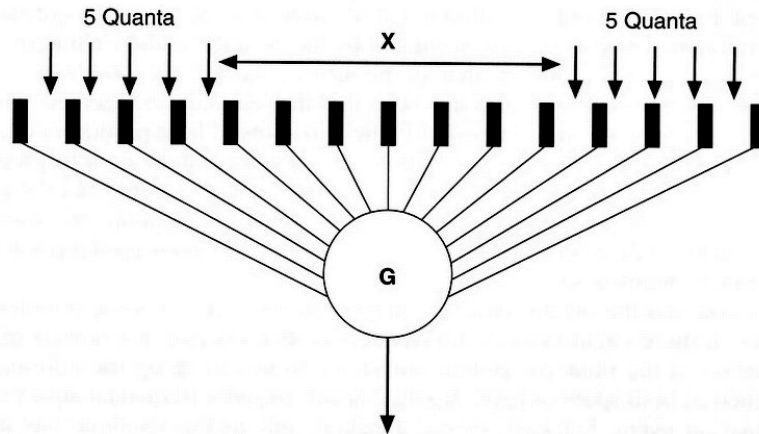
Sumación espacial

Convergencia (organización retiniana)

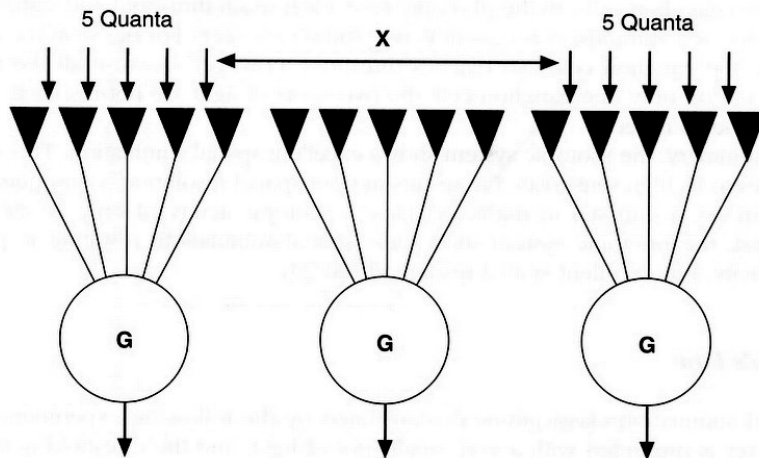


Sumación espacial

Scotopic System:



Photopic System:



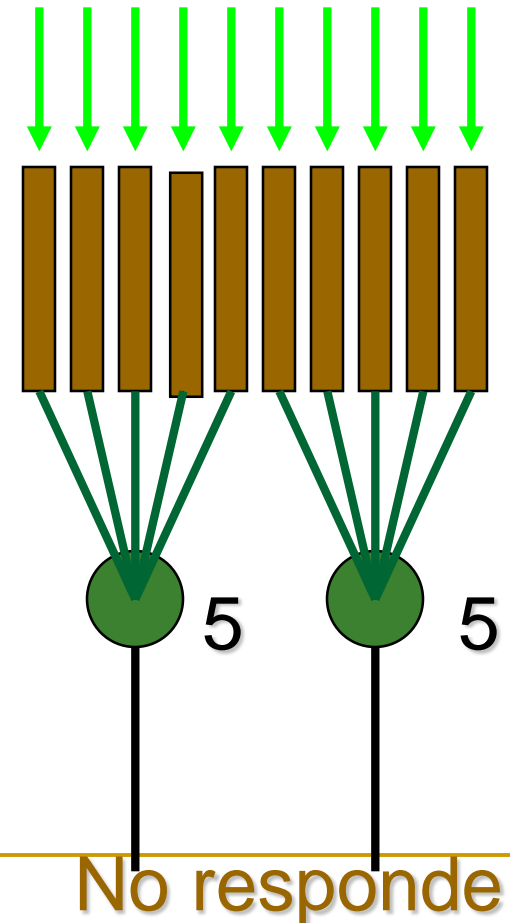
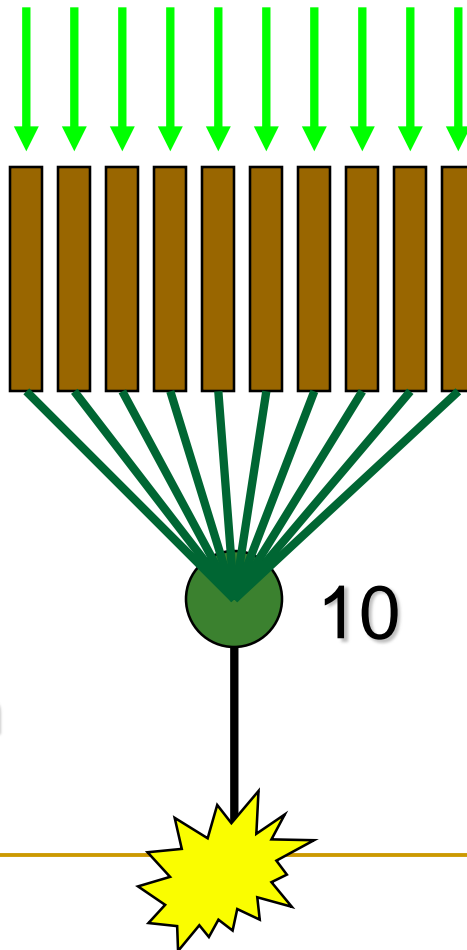
Mayor sumación espacial

Menor sumación espacial

Sumación espacial

Mayor convergencia

Menor convergencia

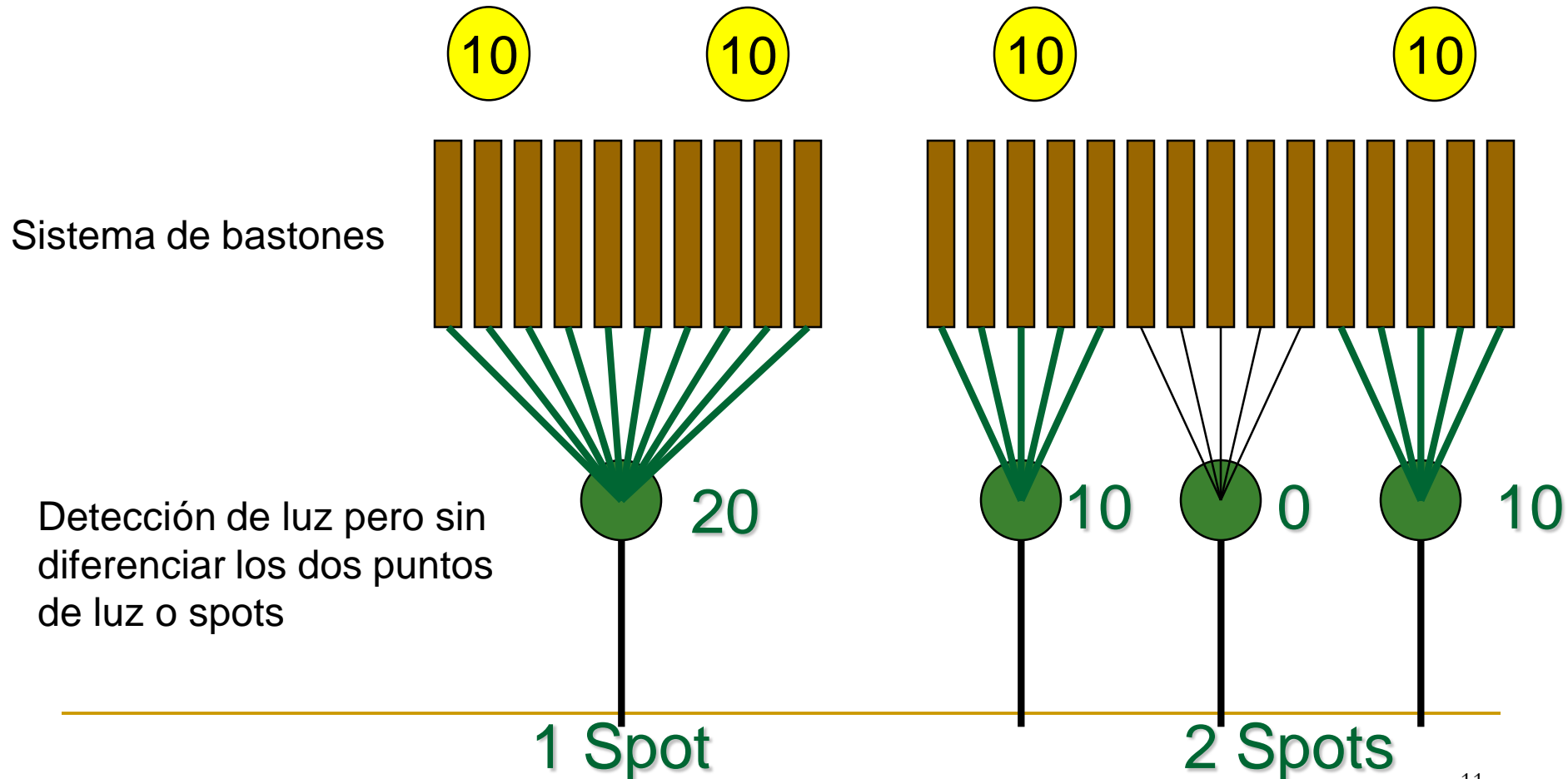


La célula ganglionar responderá cuando se absorban 10 fotones en su campo receptor

Sumación espacial

Mayor convergencia

Menor convergencia



Sumación espacial

- Incrementa la sensibilidad luminosa
- Disminuye la resolución espacial

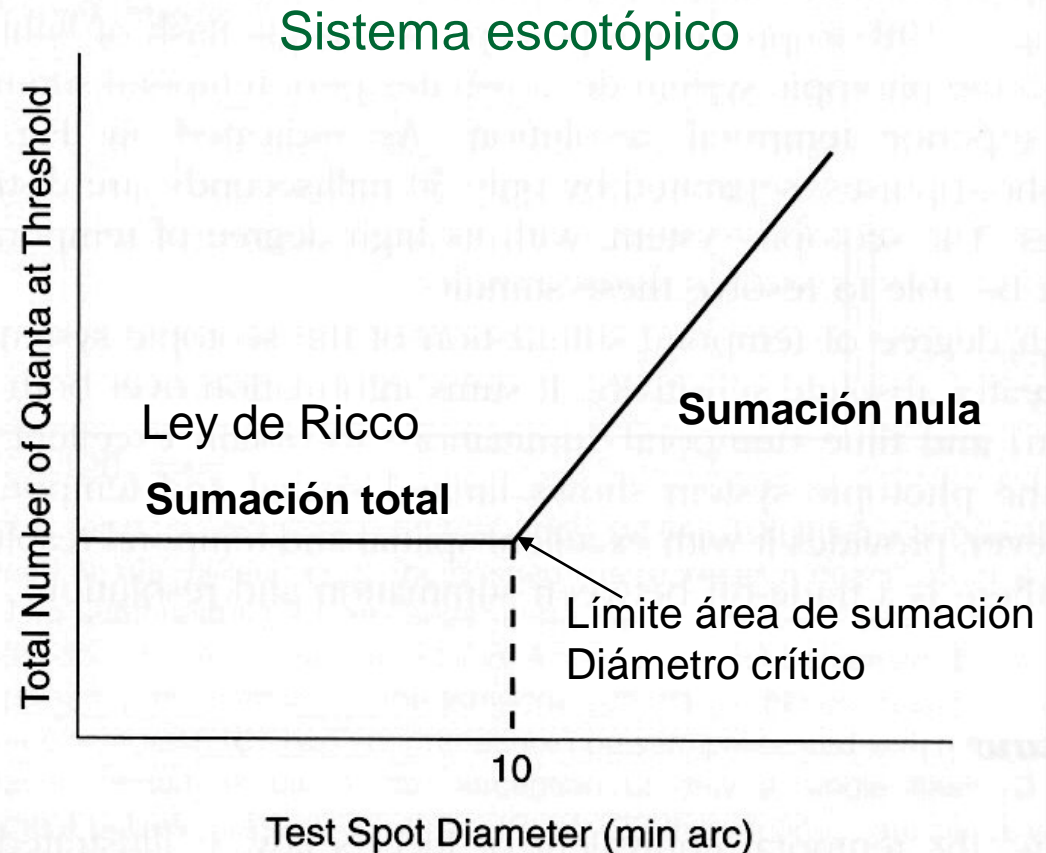
La **sensibilidad luminosa** de los bastones es mayor que la de los conos. Detectan estímulos 3 unidades logarítmicas más débiles.

La **resolución espacial** de los bastones es peor que la de los conos. Una unidad logarítmica de diferencia.

Superficie del estímulo: sumación espacial

Experimento:

- Puntos de luz de tamaño creciente
- Determinar el número de fotones en el umbral necesarios para detectar la luz



Para estímulos de hasta 10' de diámetro, el nº total de fotones necesario para el detección es constante $L \times S = cte$

Superficie del estímulo: sumación espacial

Sumación espacial total

Ley de Ricco $L \times S = cte$

L = Luminancia o intensidad del estímulo en el umbral

S = Superficie o área del campo

Sistema escotópico

Sumación espacial total para estímulos que están dentro del diámetro crítico.

El número de fotones umbral puede distribuirse en un punto de 1 minuto de arco o extenderse sobre un área más grande, de hasta 10 minutos de arco.

Sistema fotópico

Diámetro crítico menor de 10 min arc

Capacidad de sumación espacial reducida

Tiempo de exposición: sumación temporal

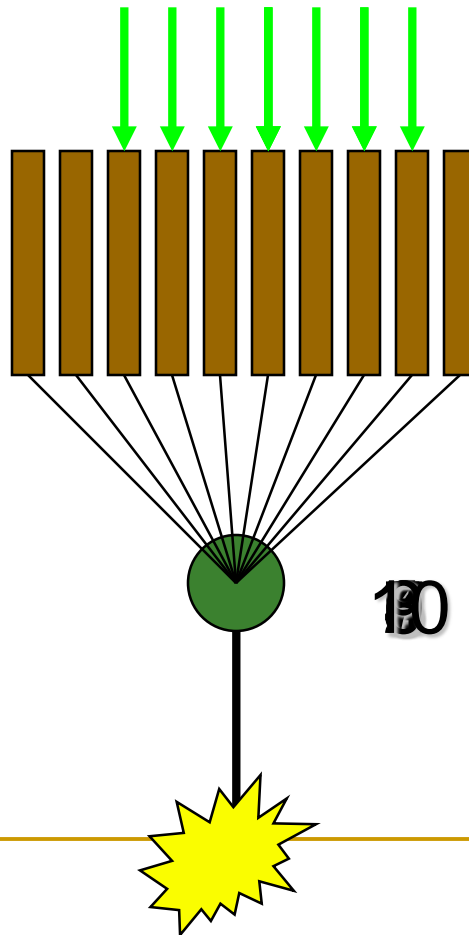
Sinapsis post-receptoral (convergencia)

El sistema escotópico tiene la habilidad de sumar la respuesta a los fotones a lo largo de un periodo de tiempo (< 1 segundo)

Se puede compensar una disminución de la luminancia con un incremento del tiempo o a la inversa, para alcanzar el número de fotones necesario para llegar al umbral

Sumación temporal

Sumación temporal



Sumación temporal

Sistema escotópico

A. Pulsos subumbral

No suman para alcanzar el umbral

B. Pulsos subumbral

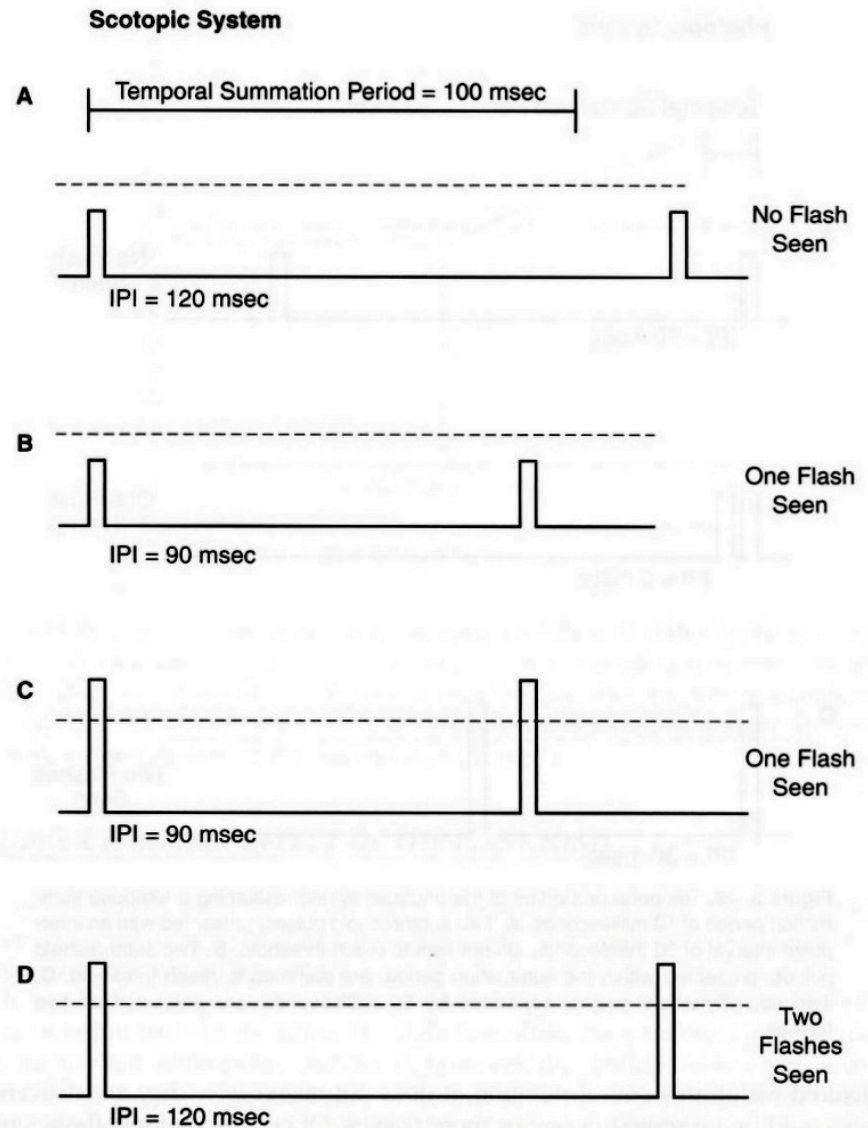
Suman para alcanzar el umbral

C. Pulsos supraumbral

D. Pulsos supraumbral

No hay sumación temporal

Hay resolución temporal



IPI (Intervalo entre pulsos)

Sumación temporal

Sistema fotópico

A. Pulsos subumbral

No suman para alcanzar el umbral

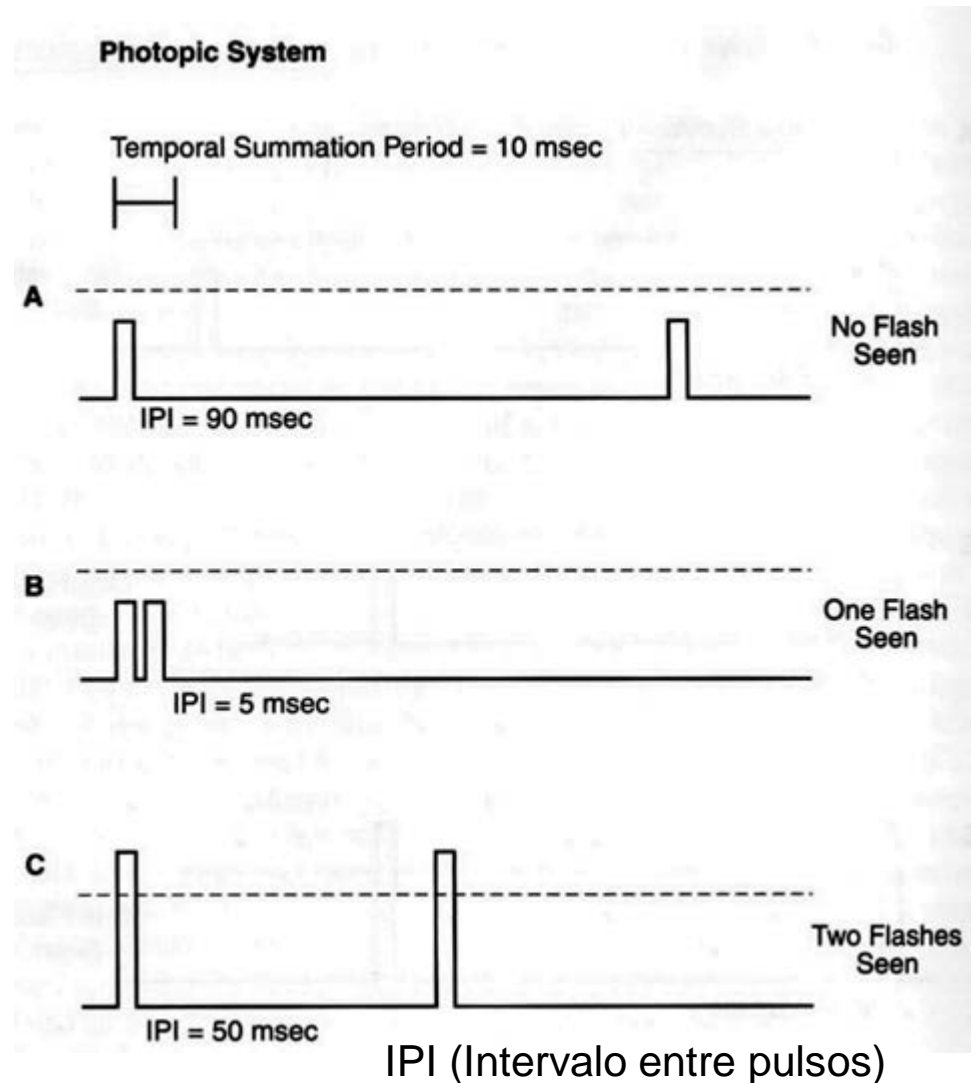
B. Pulsos subumbral

Suman para alcanzar el umbral

C. Pulsos supraumbral

No hay sumación temporal

Hay resolución temporal



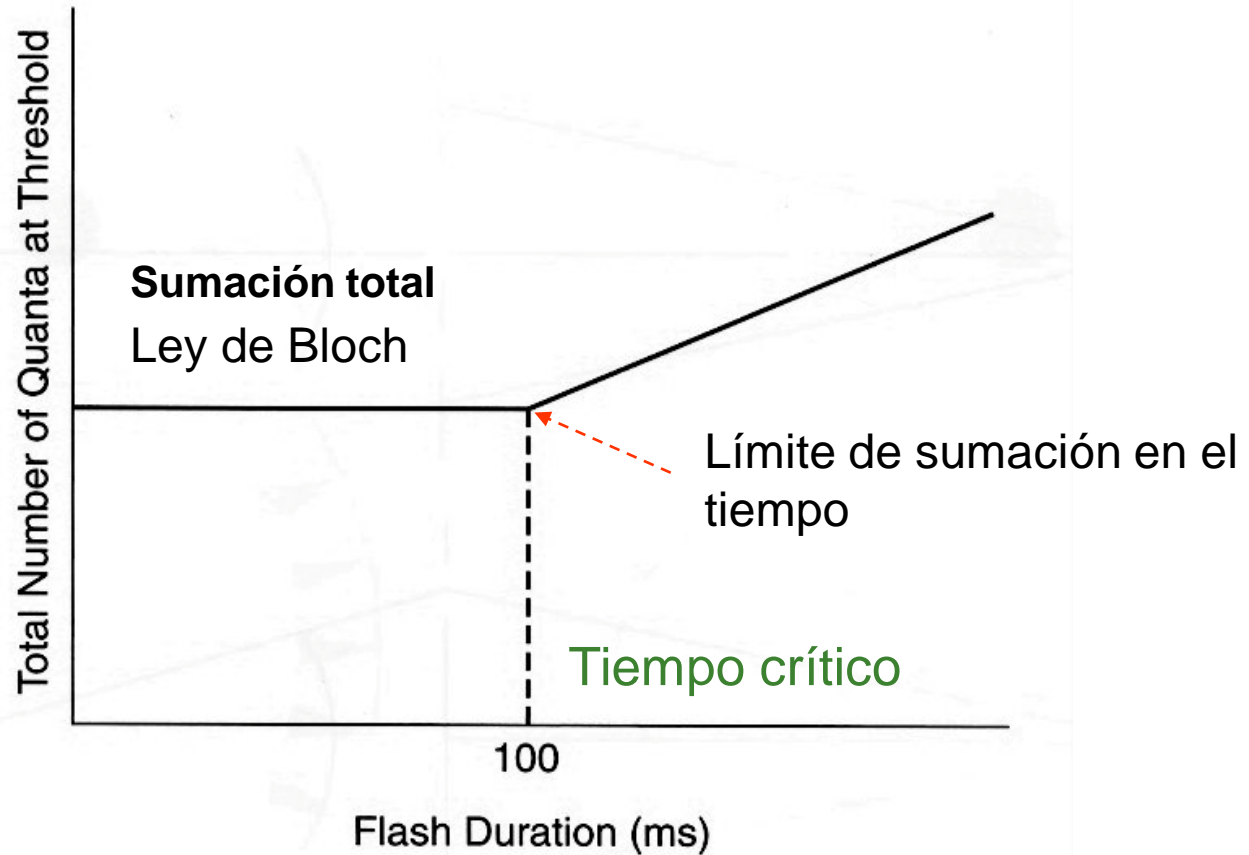
Sumación Temporal

- Incrementa la sensibilidad
- Disminuye la resolución temporal

Diferencias entre sistema escotópico y fotópico

Sumación temporal

Sistema escotópico



Sumación temporal

Sumación temporal total: Ley de Bloch

$$L \times T_e = \text{cte} \quad T_e < T_c$$

L = Luminancia

T = duración del flash

Tiempo crítico bastones 100 ms

Tiempo crítico conos de 10 a 50 ms.

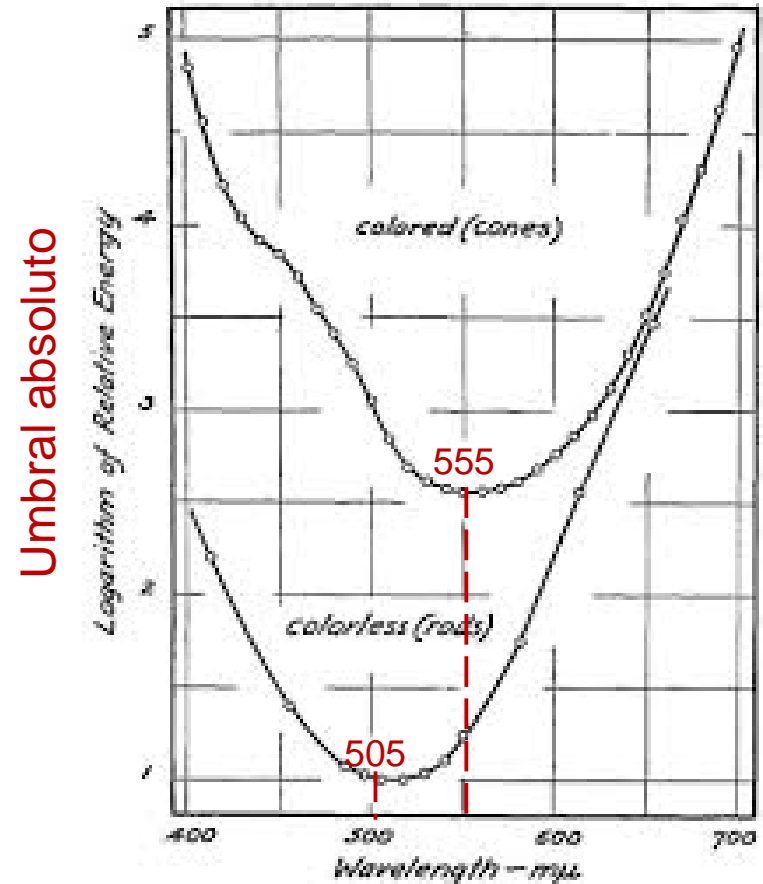
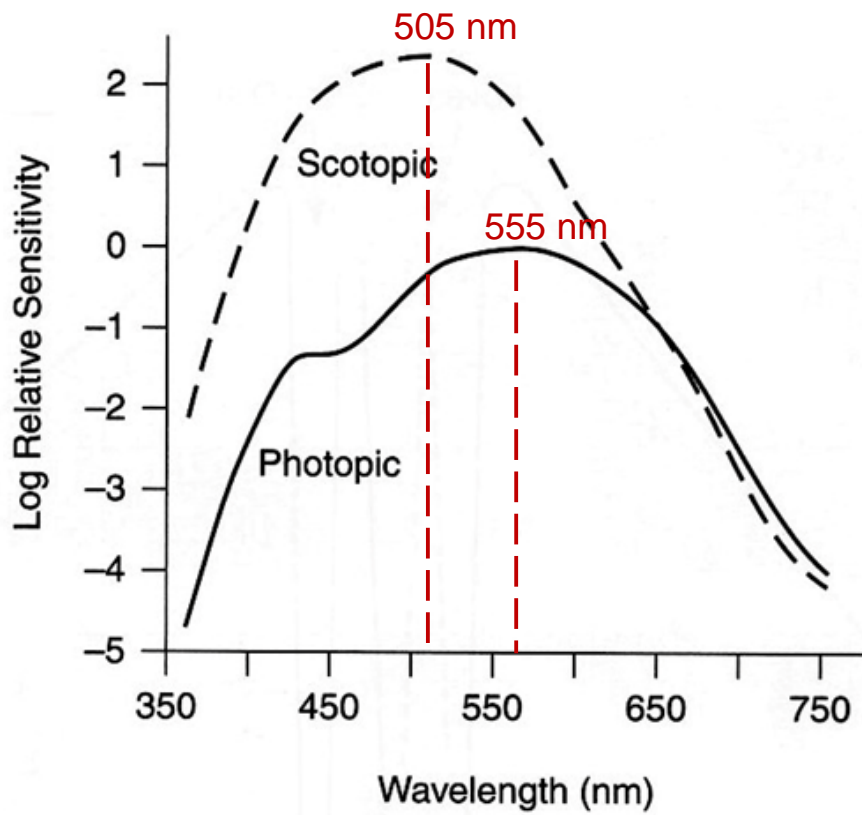
Sumación temporal parcial

El tiempo de exposición es superior al T crítico e inferior a 1 segundo

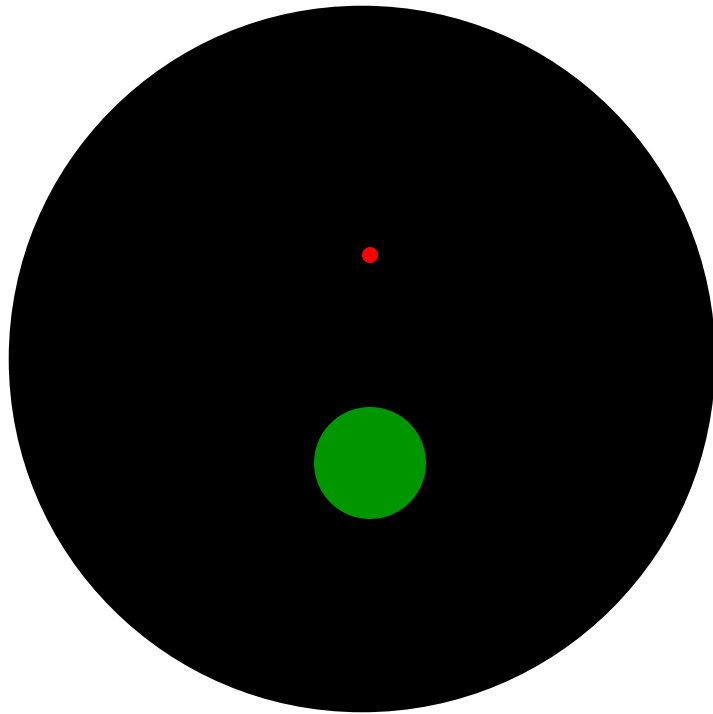
Cuando el tiempo es mayor de 1 segundo el umbral es independiente del tiempo de presentación

Color del estímulo

El umbral de luminancia es menor para las longitudes de onda de mayor eficacia según la curva de sensibilidad luminosa espectral

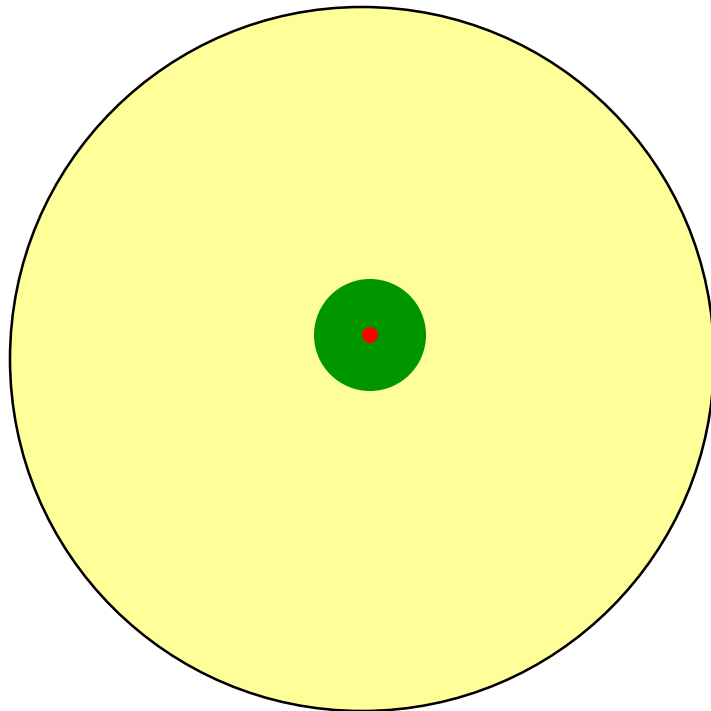


Color del estímulo: umbral absoluto escotópico



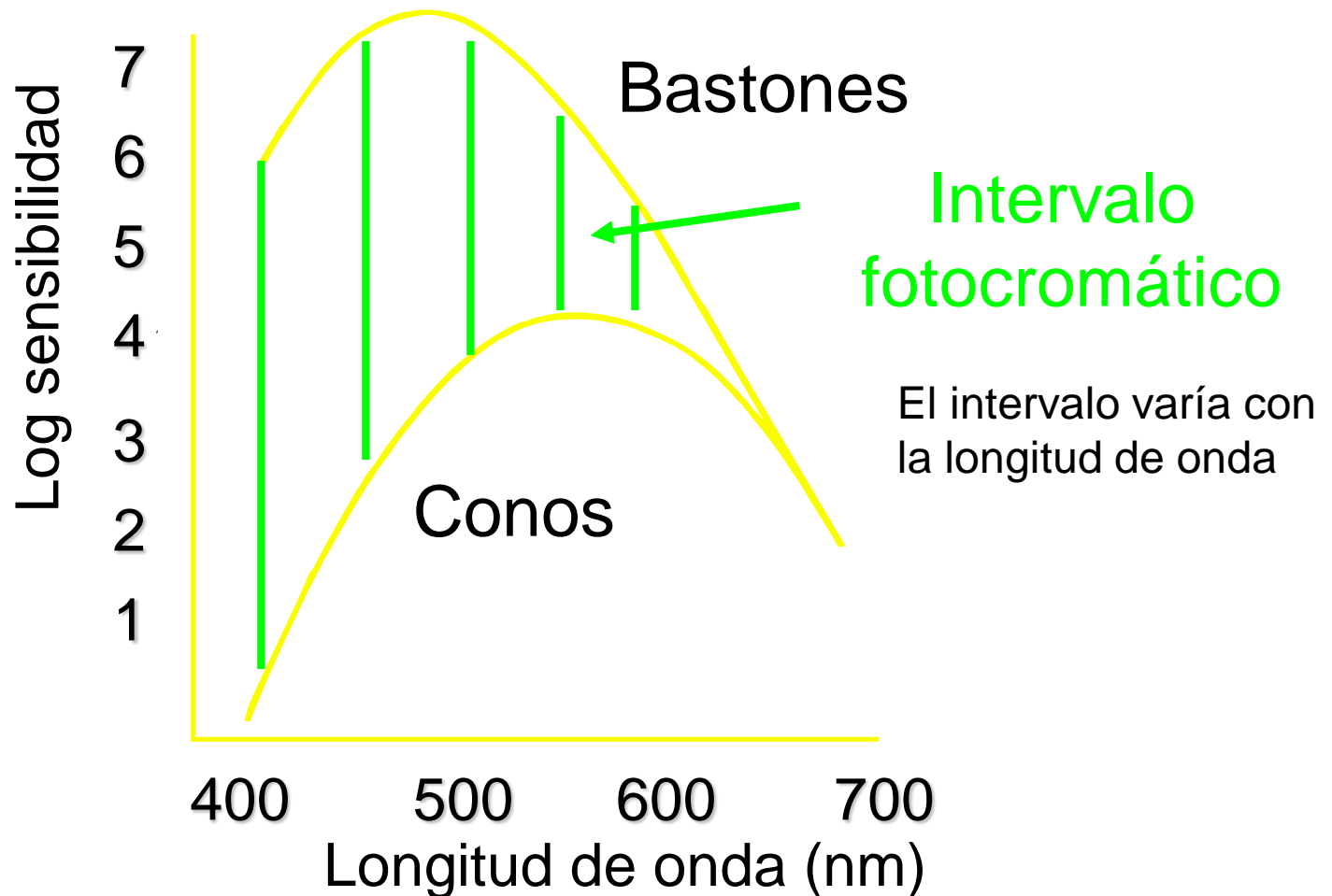
- Sujeto adaptado a la oscuridad
- Estímulos en retina periférica
- Se mide el umbral de luminancia a cada longitud de onda del espectro

Color del estímulo: umbral absoluto fotópico



- Sujeto adaptado a la luz
- Estímulos en retina central
- Se mide el umbral de luminancia a cada longitud de onda del espectro

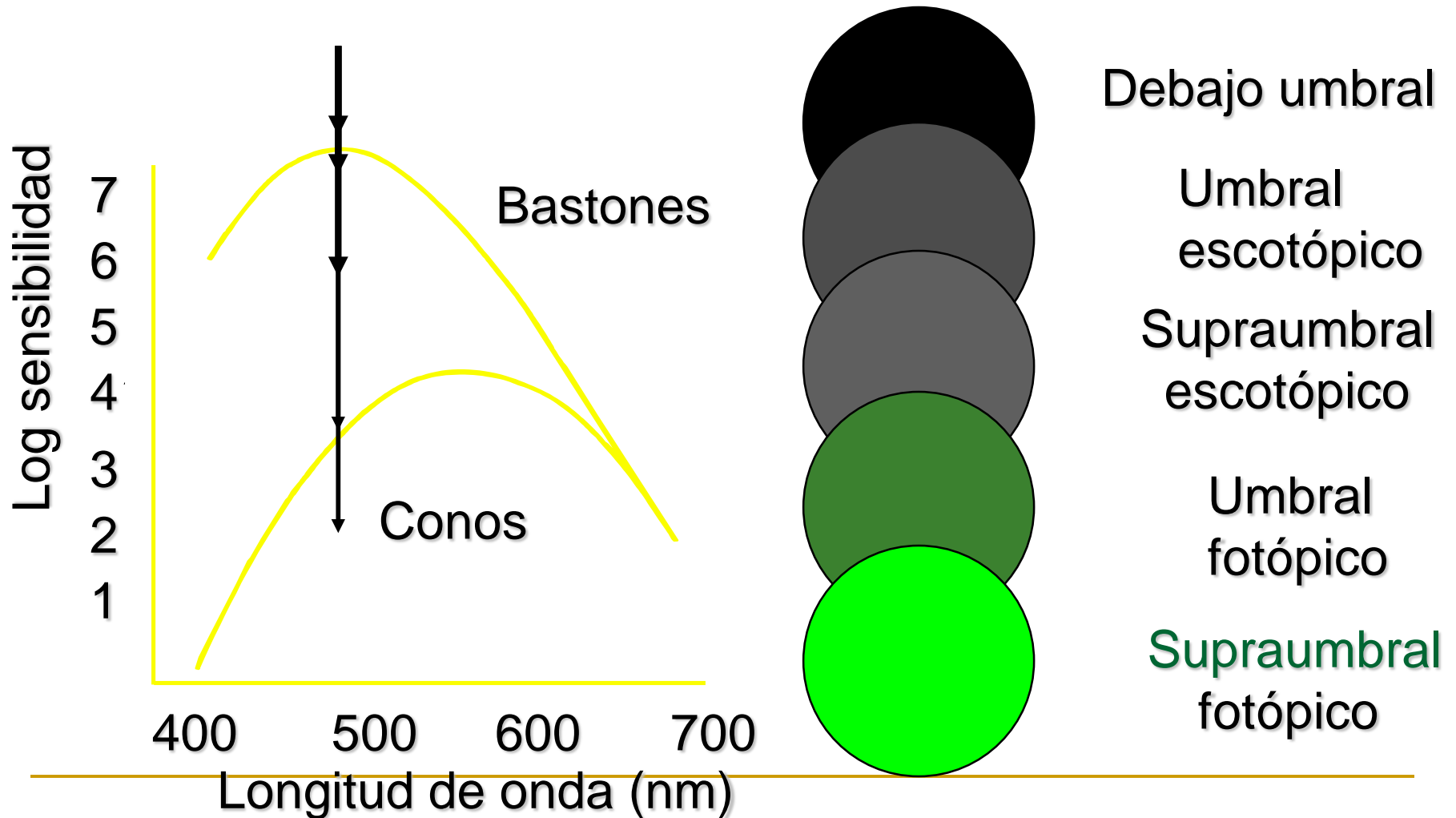
Color del estímulo: Intervalo fotocromático



Intervalo fotocromático: rango de luminancia entre los umbrales absolutos escotópico y fotópico (percepción de la luz sin y con color) para una longitud de onda determinada. ²⁵

Intervalo fotocromático

Percepción a diferentes niveles de luz



Adaptación Visual

Habilidad del sistema visual para funcionar en un amplísimo intervalo de niveles de luz

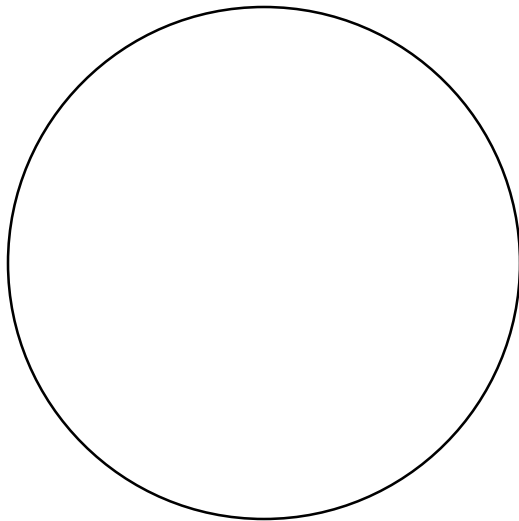
Luz solar brillante hasta luz noche estrellada
10,000,000,000 : 1

Adaptación a la oscuridad

- Prueba de adaptación a la oscuridad
 - Evalúa la recuperación de la sensibilidad luminosa después de la exposición del ojo a una luz muy intensa que provoca el blanqueamiento de los pigmentos visuales.
 - Conforme el sujeto pasa más tiempo en la oscuridad, cada vez puede detectar puntos de luz más débiles
 - Curva de adaptación a la oscuridad: representa como cambia la luminancia del estímulo detectado en función del tiempo.

Adaptación a la oscuridad

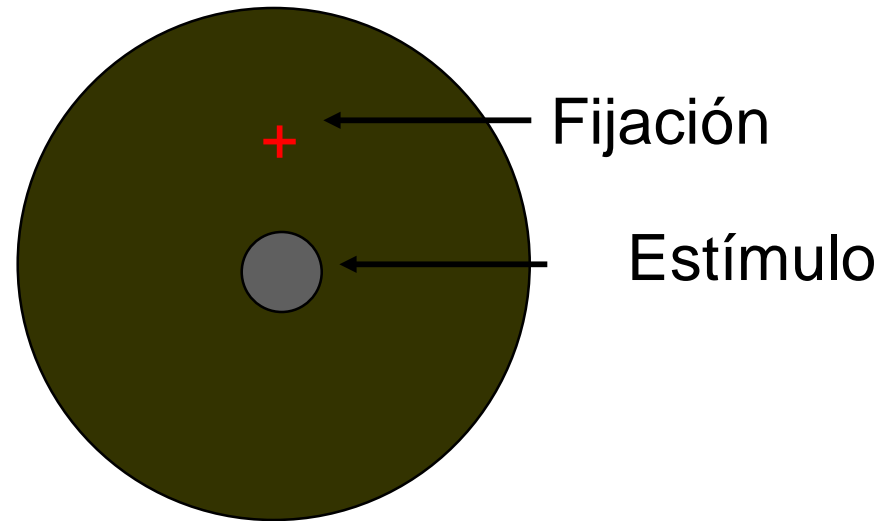
Determinación de la curva de adaptación a la oscuridad



Adaptación a la luz 5'

o

Flash luz intenso y breve
para blanquear los
fotopigmentos



Fijación

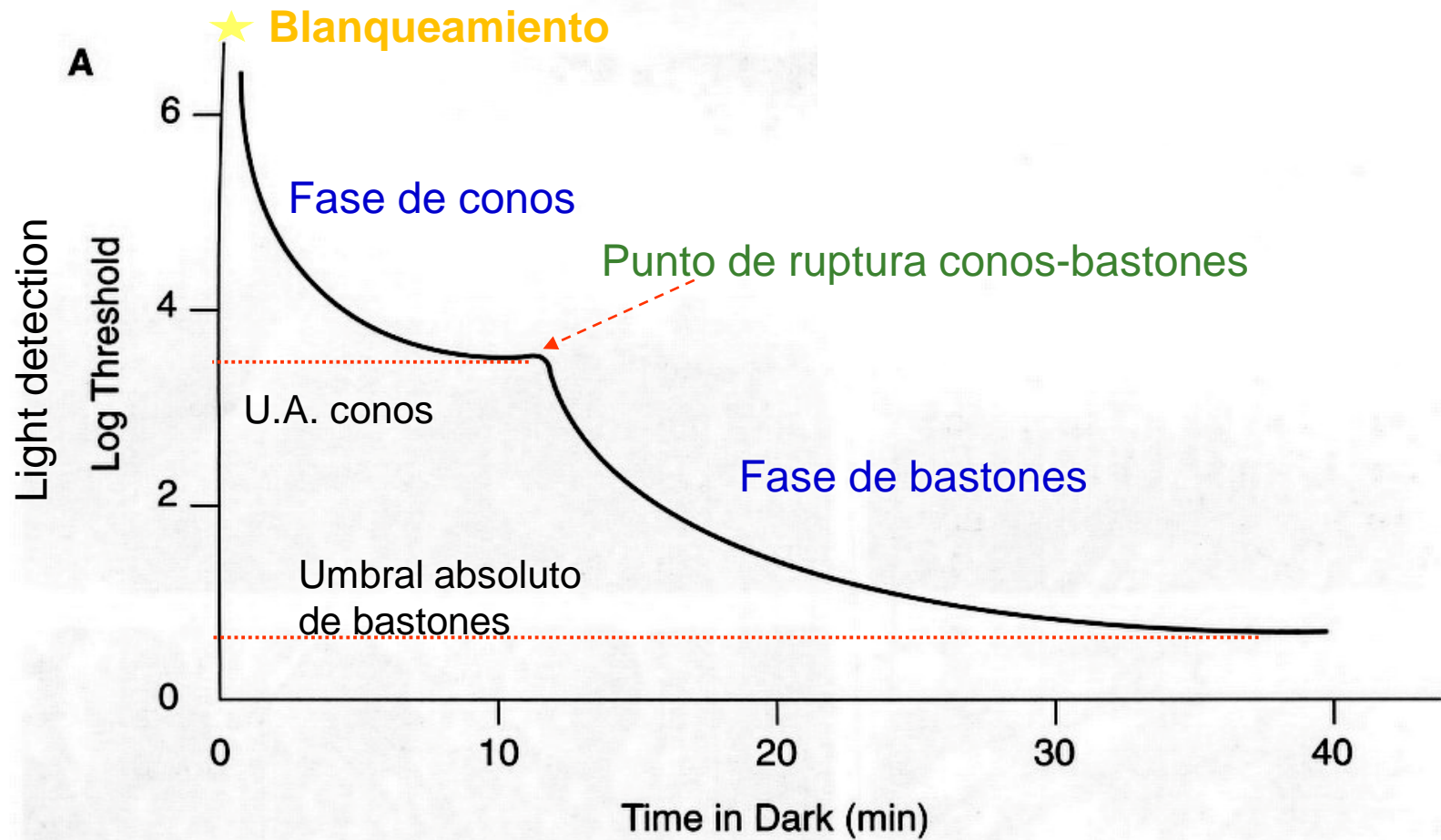
Estímulo

Determinar
luminancia umbral
durante 30 mins

Función de adaptación a la oscuridad

Curva básica

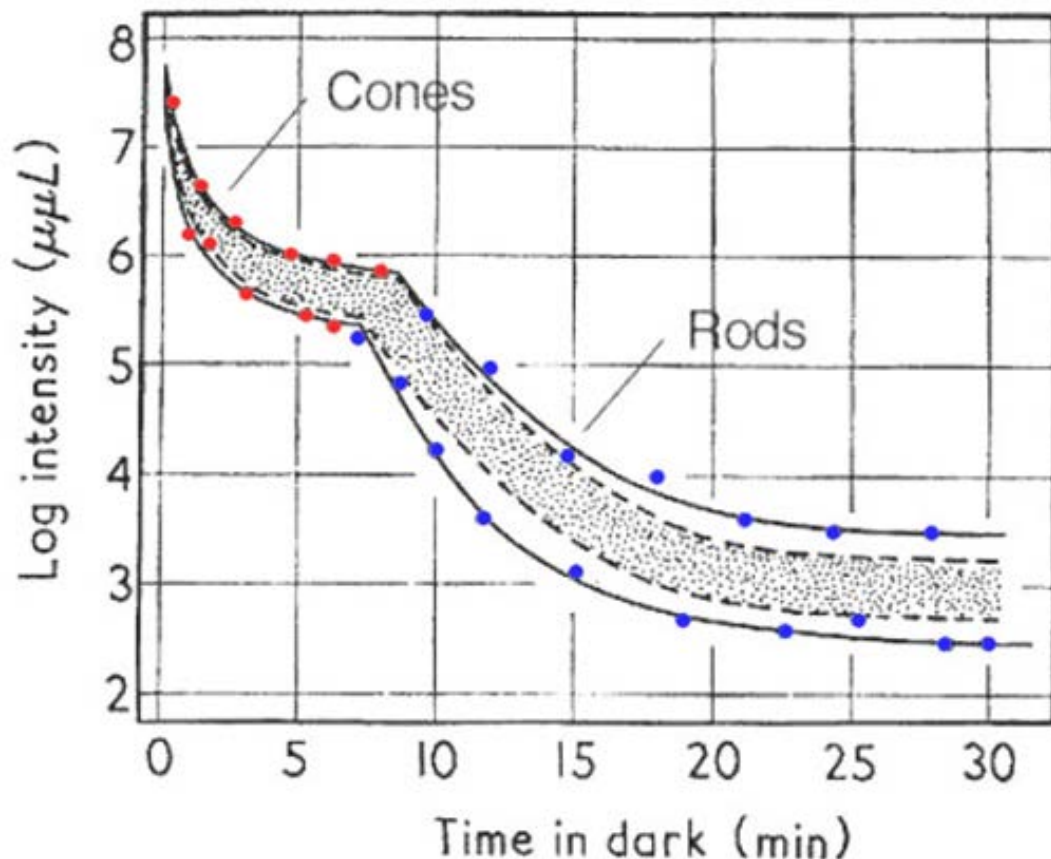
Estímulo grande



Función de adaptación a la oscuridad

- La sensibilidad luminosa cambia 5 unidades log (100,000 : 1)
- Se necesitan 30' para alcanzar la máxima sensibilidad
- Los bastones son 3 unidades log (1000 x) más sensibles que los conos

Adaptación a la oscuridad



La adaptación a la oscuridad de los bastones es lenta:

30 minutos para que “todo” el fotorpimiento se regenere después del blanqueamiento.

Factores de variación adaptación oscuridad

- Intensidad de la luz pre-adaptación para blanquear los pigmentos visual
- Efecto de la longitud de onda del estímulo
- Tamaño del estímulo y zona de retina estimulada

Nivel de intensidad pre-adaptación

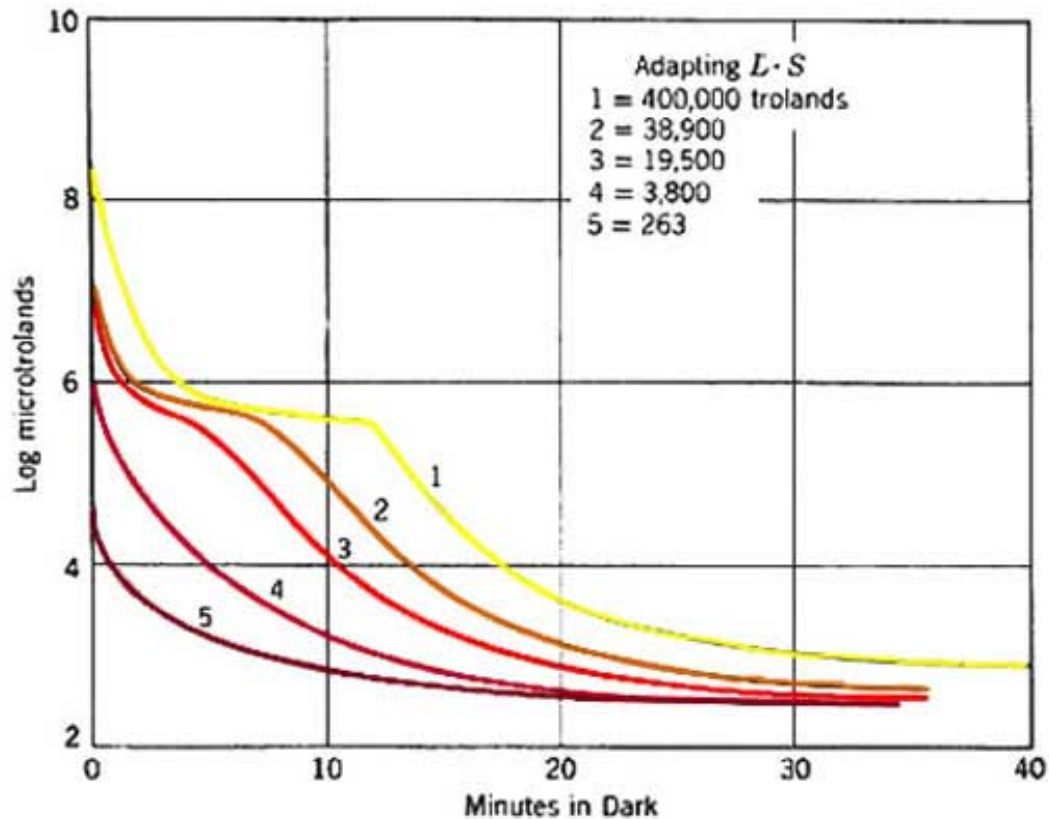
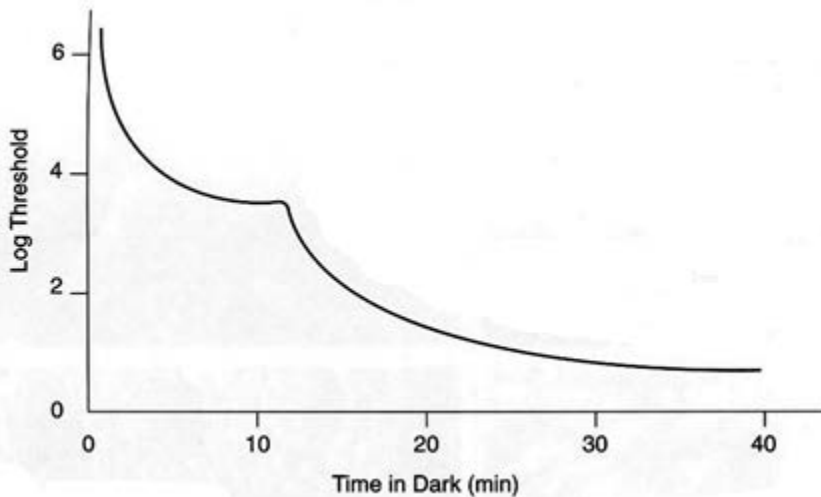


Figure 2. Dark adaptation curves following different levels of pre-adapting luminances. Hecht, Haig and Chase's data from Bartlett N. R., *Dark and Light Adaptation*. Chapter 8. In: Graham, C. H. (ed), *Vision and Visual Perception*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1965.

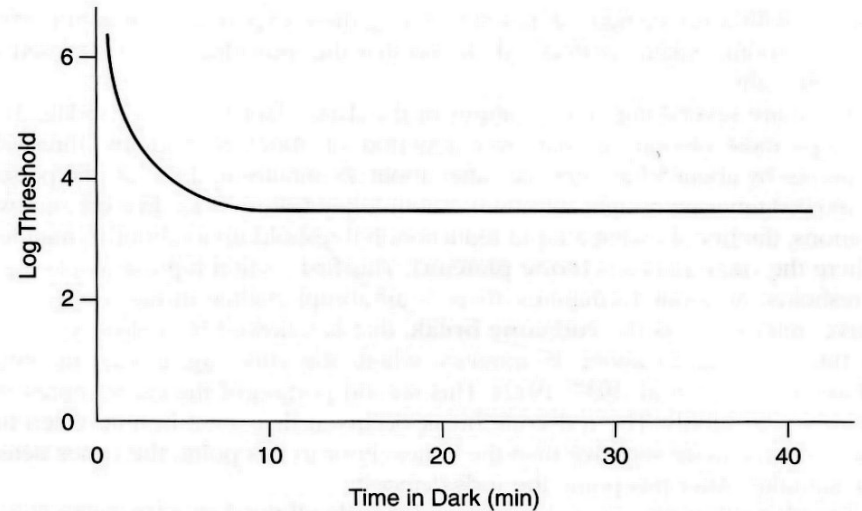
Efecto de la longitud de onda del estímulo

Estímulo de 420 nm



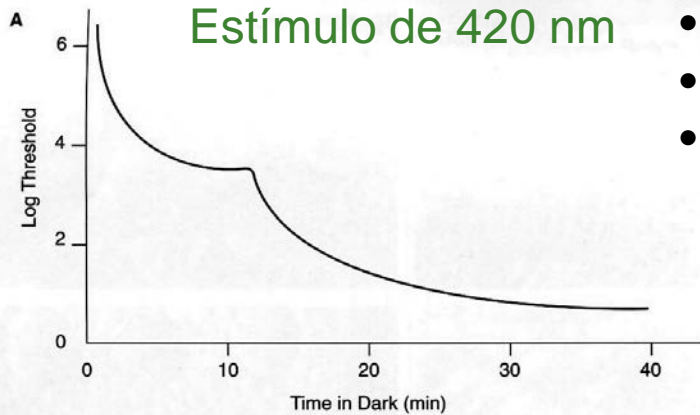
Punto de ruptura (10') muy prominente
Intervalo fotocromático muy grande
Umbral terminal muy bajo

Estímulo de 650 nm

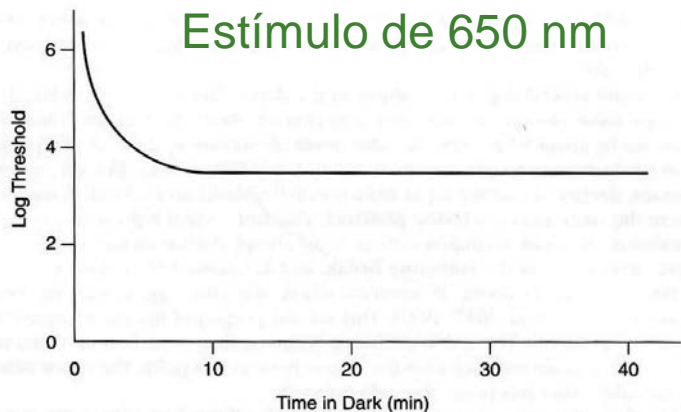


La curva solo tiene una fase
Intervalo fotocromático cero
Umbral terminal alto

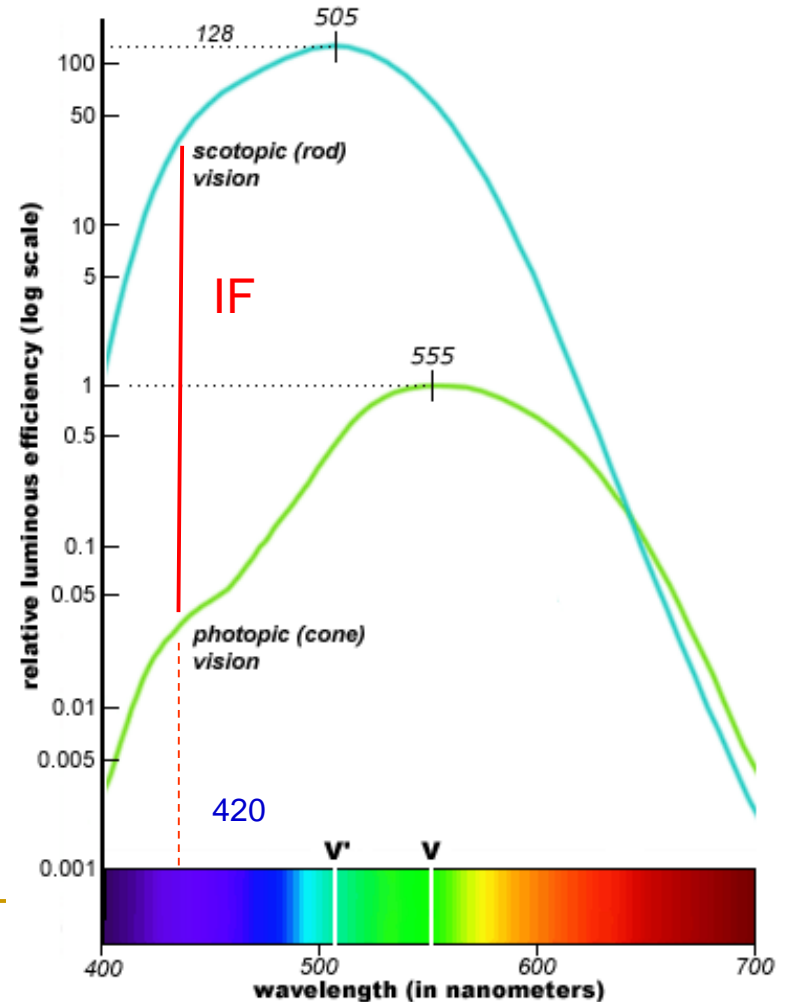
Efecto de la longitud de onda del estímulo



- Punto de ruptura (10') muy prominente
- Intervalo fotocromático muy grande
- Umbral terminal muy bajo



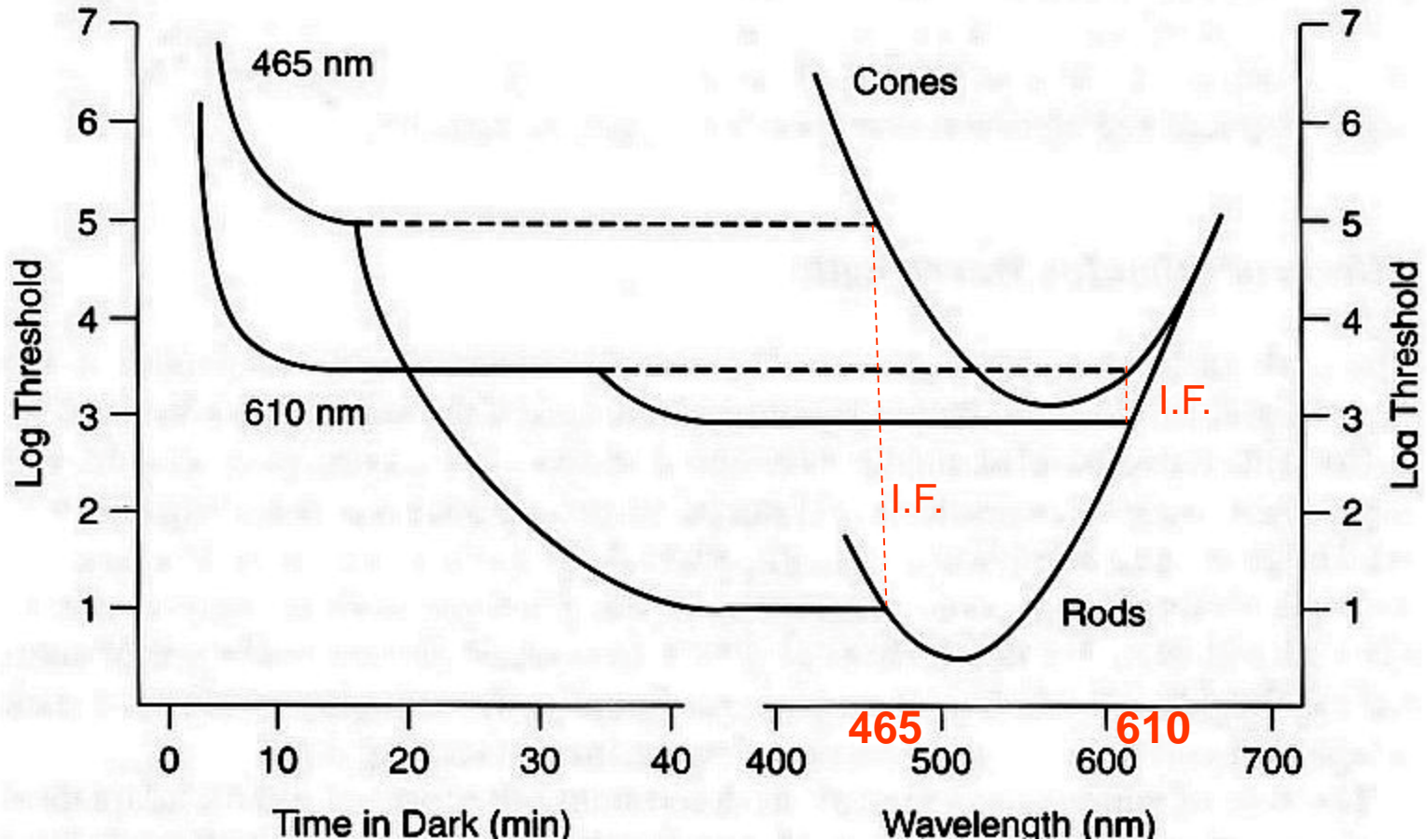
- La curva solo tiene una fase
- Intervalo fotocromático cero
- Umbral terminal alto



Efecto de la longitud de onda del estímulo

Curvas de adaptación a la oscuridad para estímulos de 465 y 610 nm

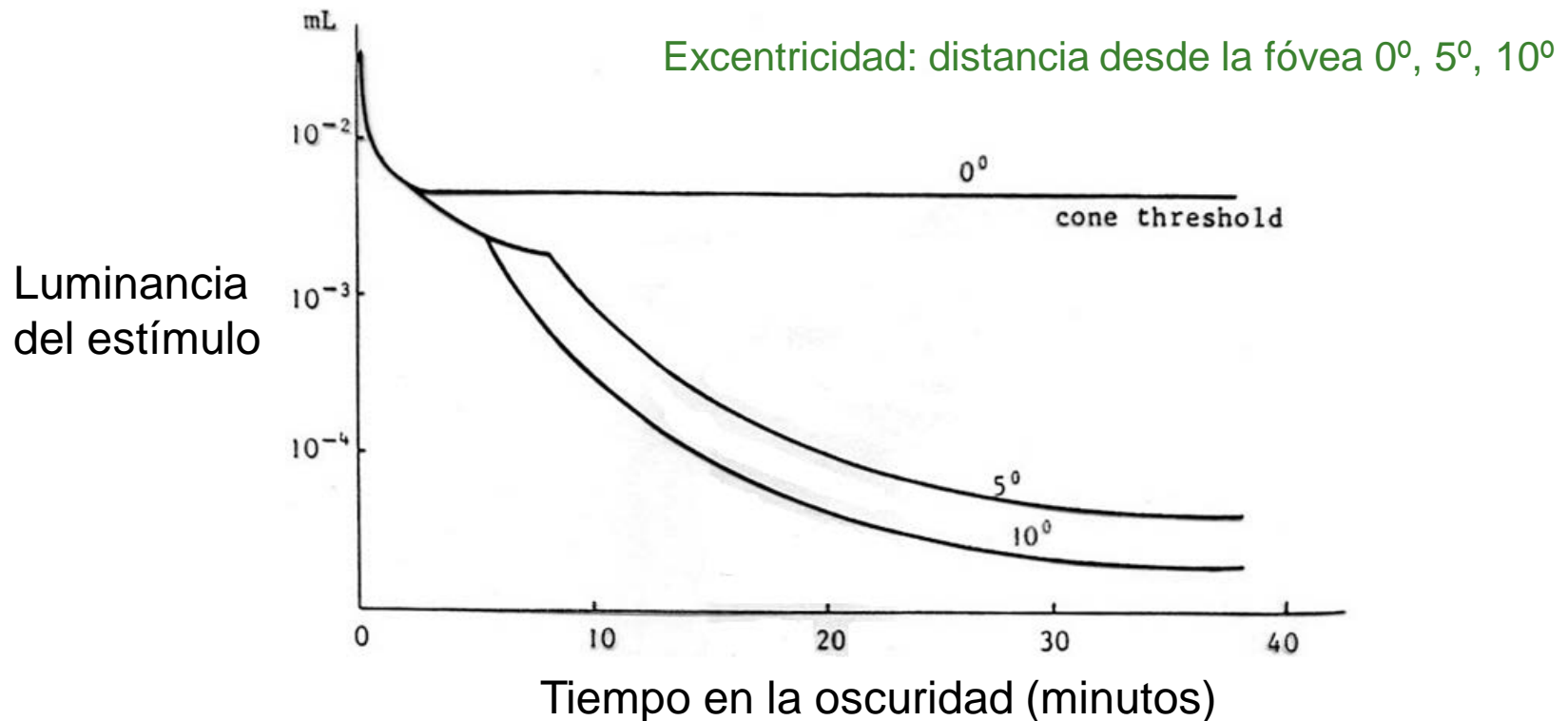
Funciones umbrales para conos y bastones



Tamaño del estímulo y zona de retina estimulada

El tamaño del estímulo y la zona de retina estimulada determinada el grado de implicación de los fotorreceptores conos y bastones

Zona de retina estimulada: grado de excentricidad presentación del estímulo



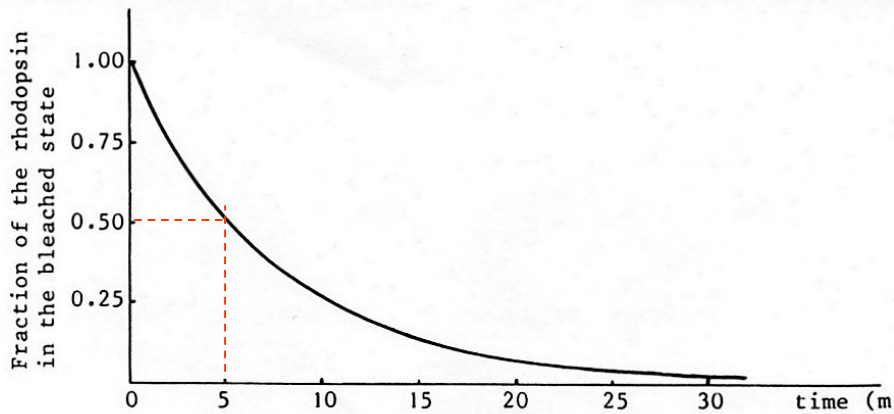
Bases fisiológicas adaptación a la oscuridad

- Mecanismo bioquímico
 - regeneración de los fotorpigmentos de los conos y bastones
- Mecanismo neuronal
 - variación del tamaño del campo receptor

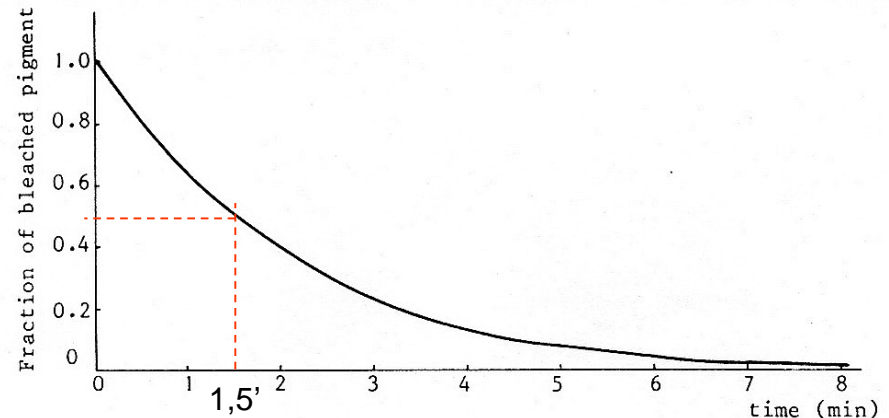
Mecanismo bioquímico

- Cambios en la concentración de los fotorreceptores de los fotorreceptores.
- Algunos minutos
- Pueden alterar la sensibilidad del ojo en un rango de intensidad de 1-8 unidades logarítmicas

Tiempo de regeneración de los fotorpigmentos



The regeneration time for rhodopsin

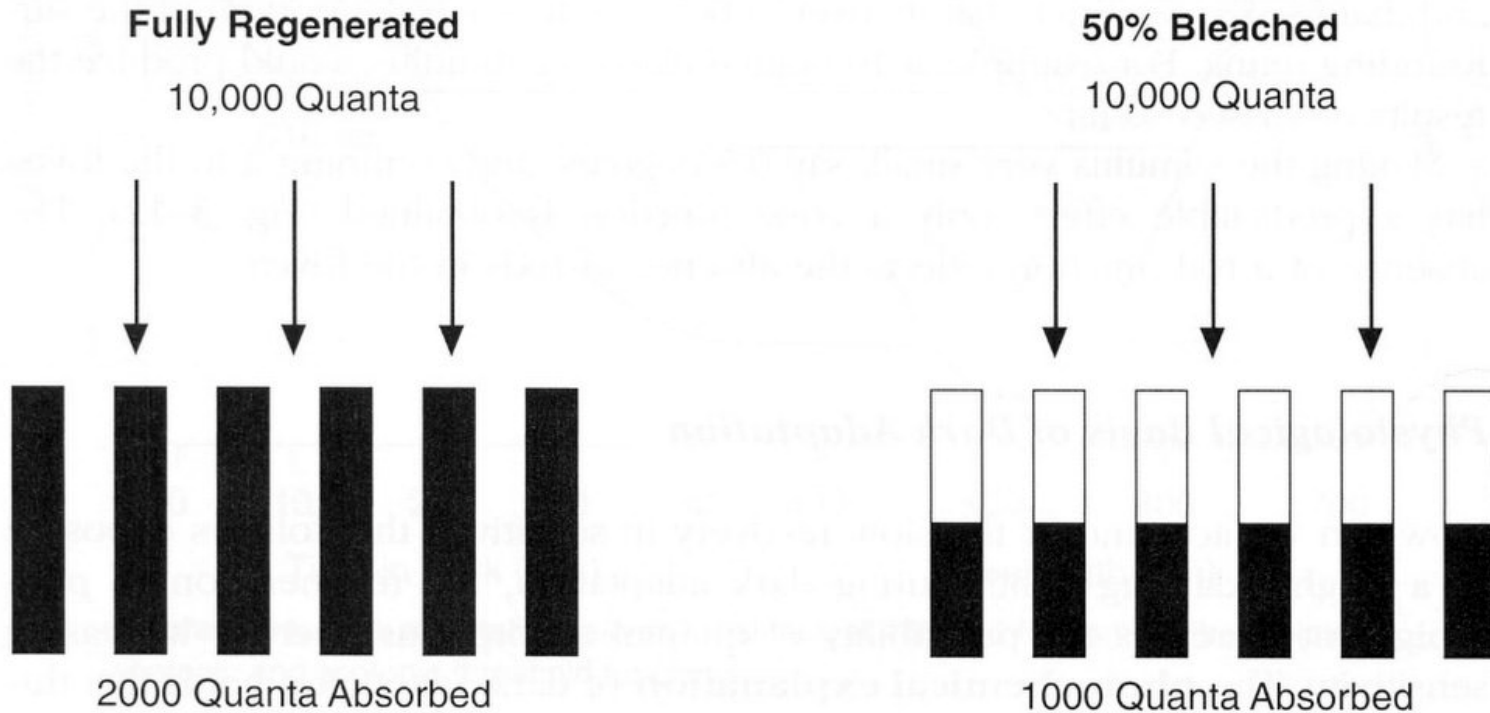


Regeneration of *in vivo* human cone pigment in the dark.

Regeneración en la oscuridad

La regeneración de fotorpigmentos incrementa la probabilidad de absorción de fotones y por lo tanto el umbral disminuye (mejora)

Mecanismo bioquímico: regeneración de los ftopigmentos



Un 50% de blanqueamiento de la rodopsina disminuye a la mitad la probabilidad de absorber fotones ¿doblaría el umbral?

El umbral se incrementa (empeora) en un factor aproximadamente de 10^{10}

Mecanismo bioquímico

Relación entre la intensidad (I) del estímulo umbral y la proporción (P) de rodopsina blanqueada

$$\log \left[\frac{I}{I_0} \right] = 10KP$$

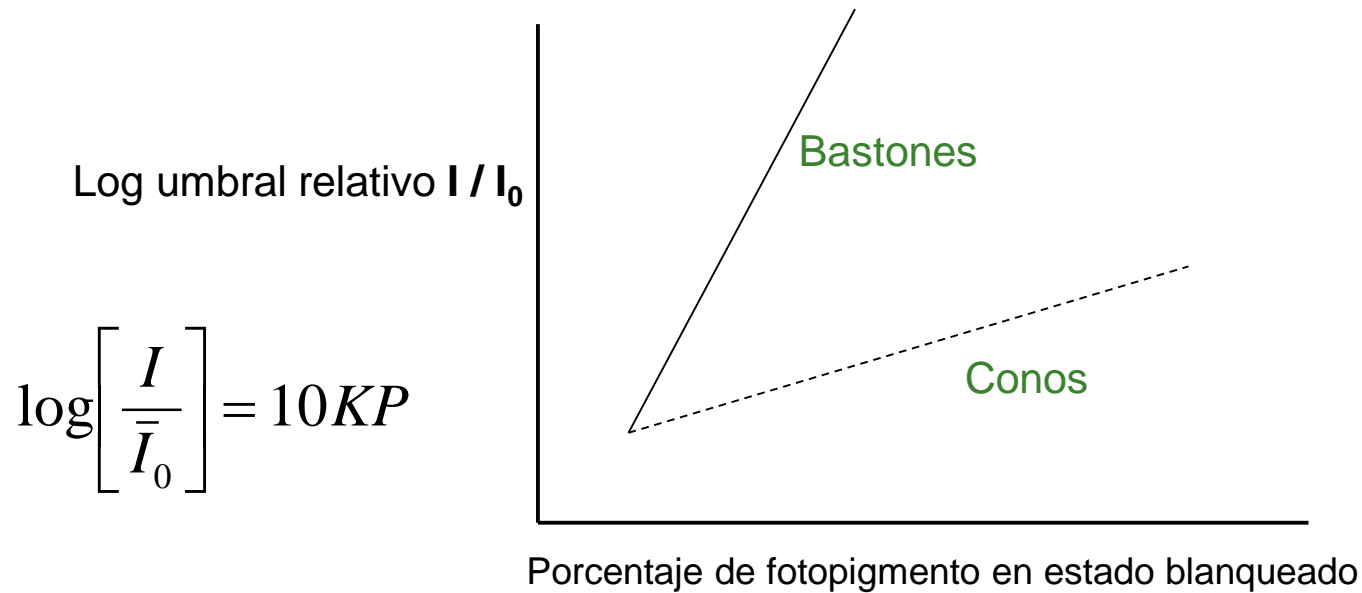
I = I umbral del estímulo

I_0 = I umbral absoluto de adaptación a la oscuridad.

P = Proporción de pigmento en estado blanqueado

K = constante (2 para los bastones, 0,3 para los conos)

Mecanismo bioquímico



Cuando $P = \frac{1}{2}$

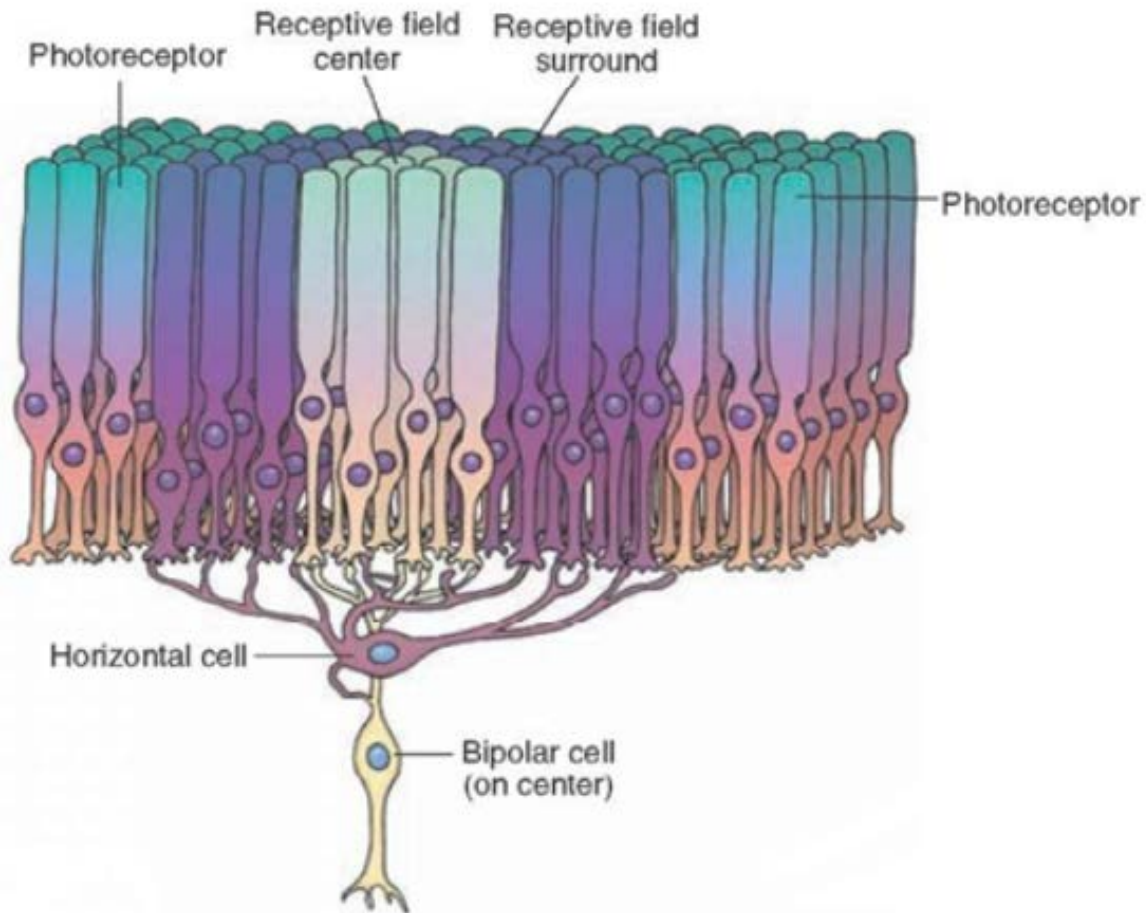
Bastones $\log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2}$ $I = 10^{10} \cdot I_0$

Conos $\log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot 0,3 \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$ $I = 10^{\frac{3}{2}} \cdot I_0$

Mecanismo neuronal

- En la oscuridad, la actividad de los bastones no está inhibida por la de los conos.
- Mayor sensibilidad de los bastones
 - mayor concentración de rodopsina
 - mayor convergencia anatómica
 - sumación espacial
 - **aumenta mucho el tamaño del campo receptor**
- Adaptación neuronal mucho más rápida que la adaptación fotoquímica

Campo receptor

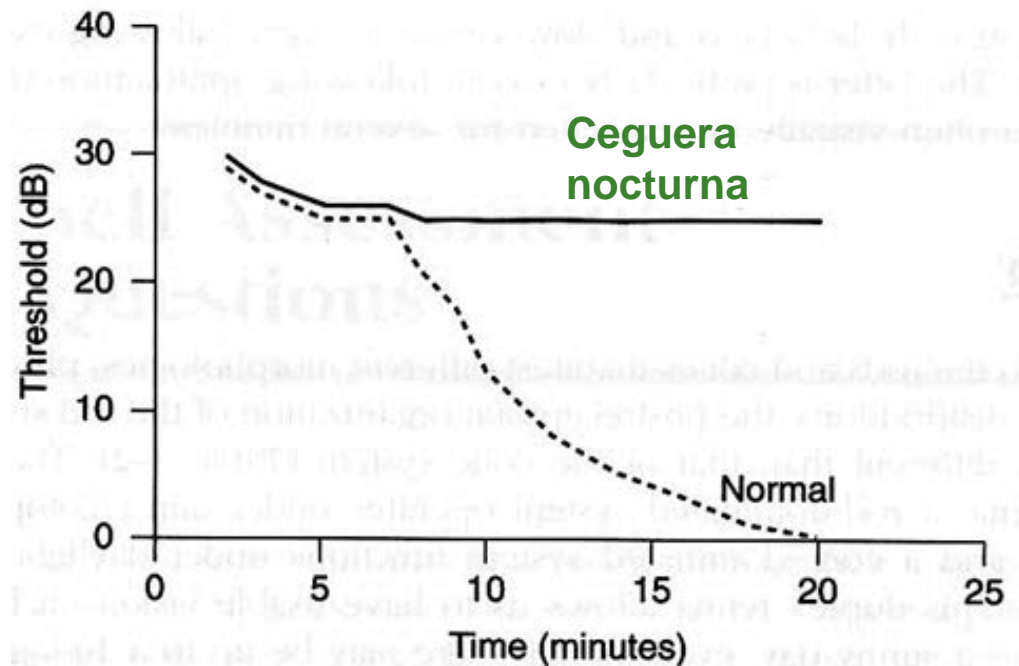


Características vision escotópica

- Mayor sensibilidad luminosa pero mayor riesgo de deslumbramiento.
- Visión nocturna disminuida respecto visión diurna
 - Agudeza visual reducida (1/10).
 - Campo visual con escotoma central pero límite normal.
 - No se discriminan colores.
- Desplazamiento del máximo de la curva de sensibilidad espectral hacia luces de menor longitud de onda.
- Miopía nocturna debida a:
 - aberración cromática
 - aberración esférica
 - modificaciones en la forma del cristalino
- Efecto autocinético.

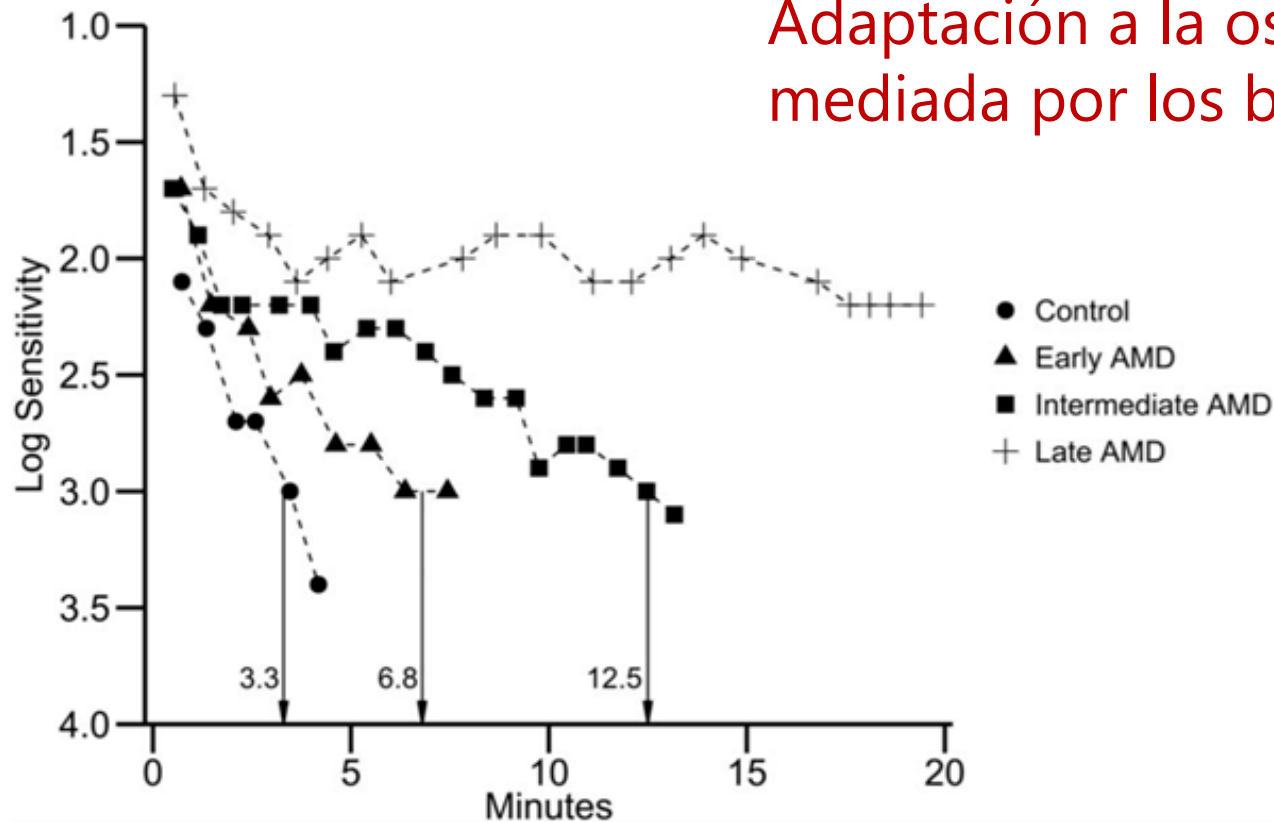
Trastorno clínico de la adaptación a la oscuridad

- ❑ Avitaminosis A
- ❑ Retinosis pigmentaria
- ❑ Degeneración macular asociada a la edad
- ❑ Retinopatía diabética



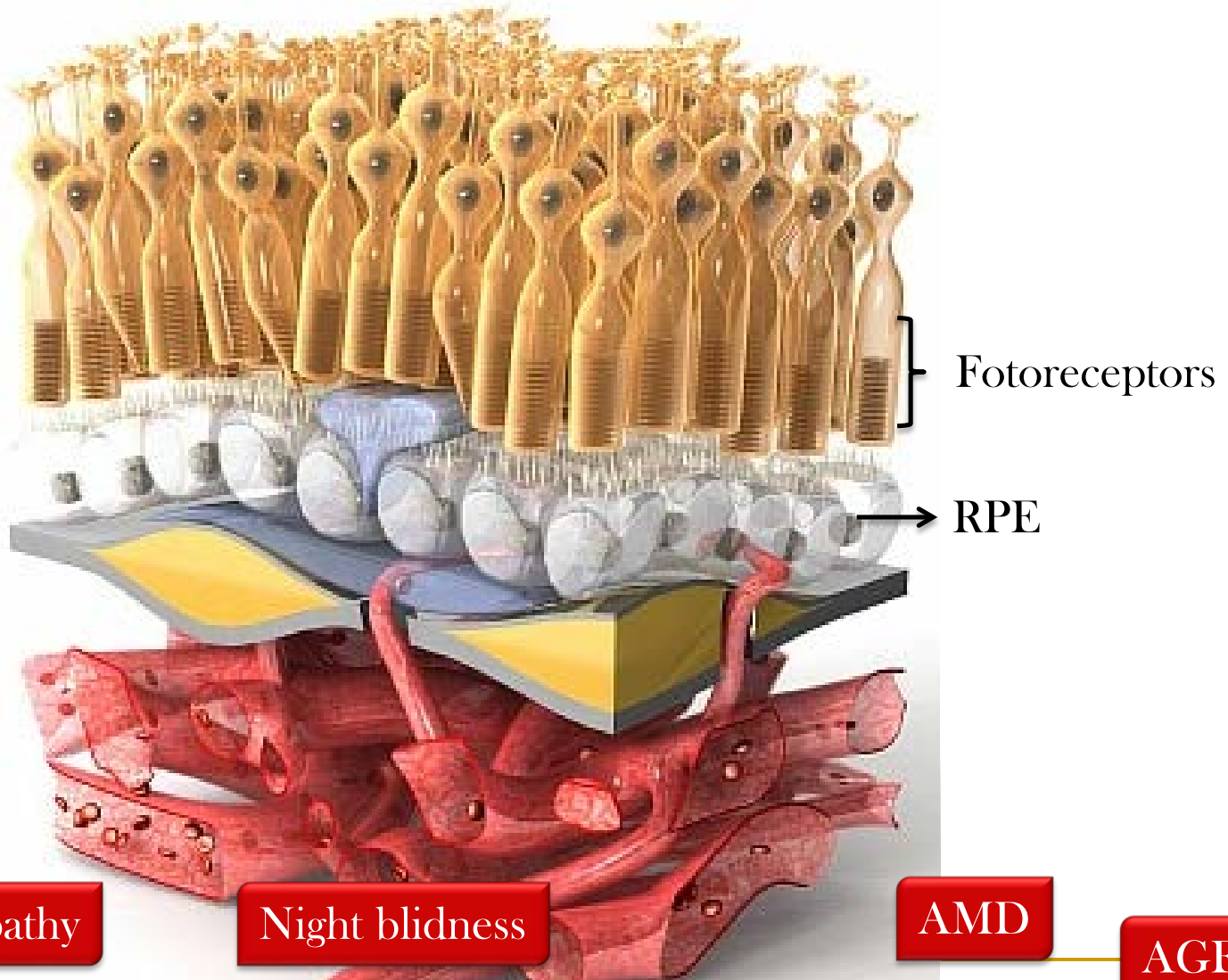
Degeneración macular asociada a la edad

Adaptación a la oscuridad
mediada por los bastones



Laíns et al. *Retina* 2018; 38:1145–55.

Pigment regeneration capacity
Dark adaptation rate



Diabetic retinopathy

Night blidness

AMD

AGE

Retinitis pigmentosa

Vitamin A Deficiency



Gracias
