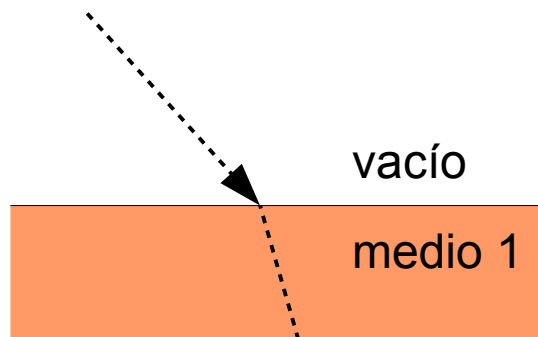




Ejercicio⁽²⁾

- Un rayo de luz en el vacío
 - $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$
- cambia a un medio con
 - $n_1 = 1.45$



- Hallar λ_1 y v_1 en el nuevo medio

Recordar...

$$v = \frac{\lambda f}{n}$$

$$n(\lambda) \triangleq \frac{c}{v(\lambda)}$$

$$c = 299\,793 \text{ km/s}$$



Resolución

- $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$ (vacío)
- $n = 1.45$

Recordar...

$$v = \frac{\lambda f}{n}$$

$$n(\lambda) \triangleq \frac{c}{v(\lambda)}$$

$$c = 299\,793 \text{ km/s}$$

Energía radiante

- Ejemplo: velocidad de una onda monocromática de 589 nm
 - Vacío: $v = 299\,793 \text{ km/s} = c$
 - Aire: $v = 299\,724 \text{ km/s} < c$
 - Vidrio óptico: $v = 198\,223 \text{ km/s} < c$
 - Agua: $v = 224\,915 \text{ km/s} < c$

Ejercicio⁽³⁾ (para después de clase)

Hallar los índices de refracción de estos materiales

Energía radiante

- Índice de refracción relativo

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

- útil cuando la transición es entre medios de densidad óptica mayor que el vacío o el aire

Energía radiante

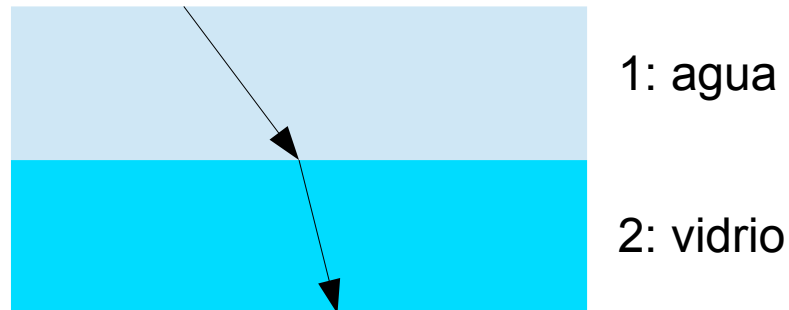
- Índice de refracción relativo
 - Si el medio 1 es menos denso que el 2, entonces

$$n_{2,1} > 1$$

$$v_1 > v_2$$

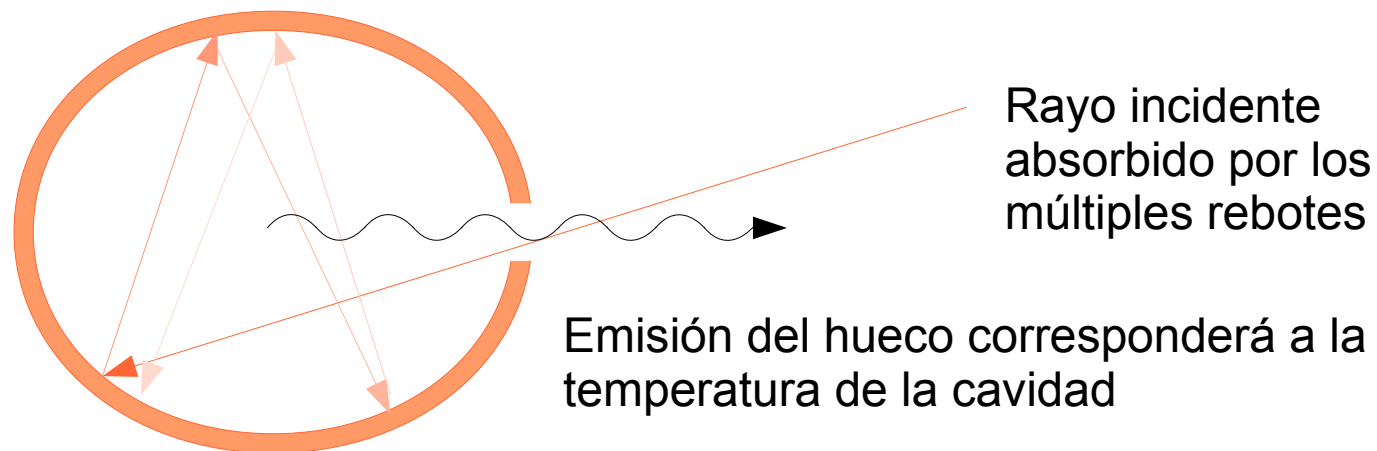
$$\lambda_1 > \lambda_2$$

- Ejemplo



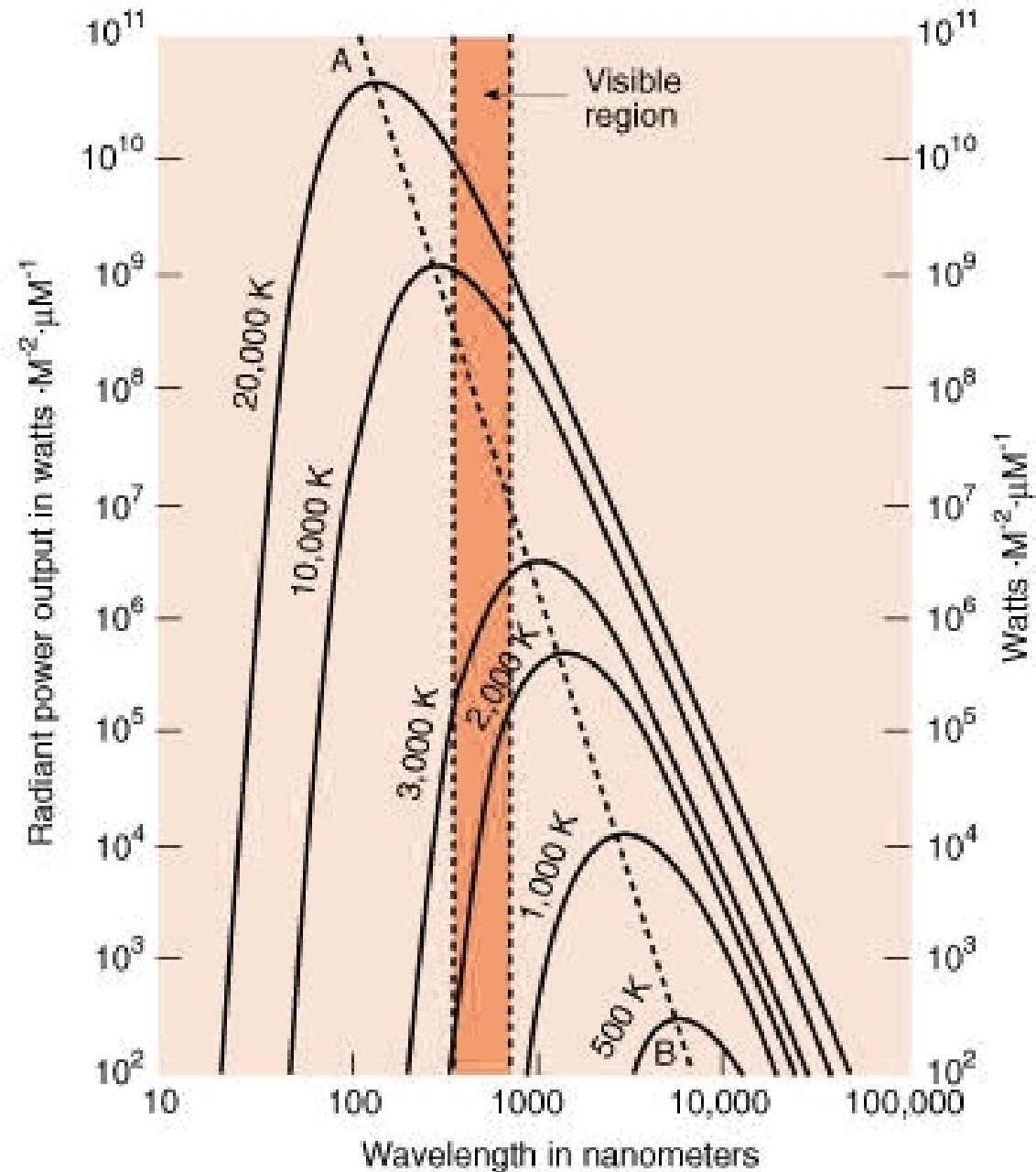
Energía radiante

- **Radiación de cuerpo negro**
- Cuerpo negro: objeto teórico
 - absorbe toda la radiación que recibe
 - emisión solo depende de su temperatura
- Se puede aproximar por una ranura en una cavidad

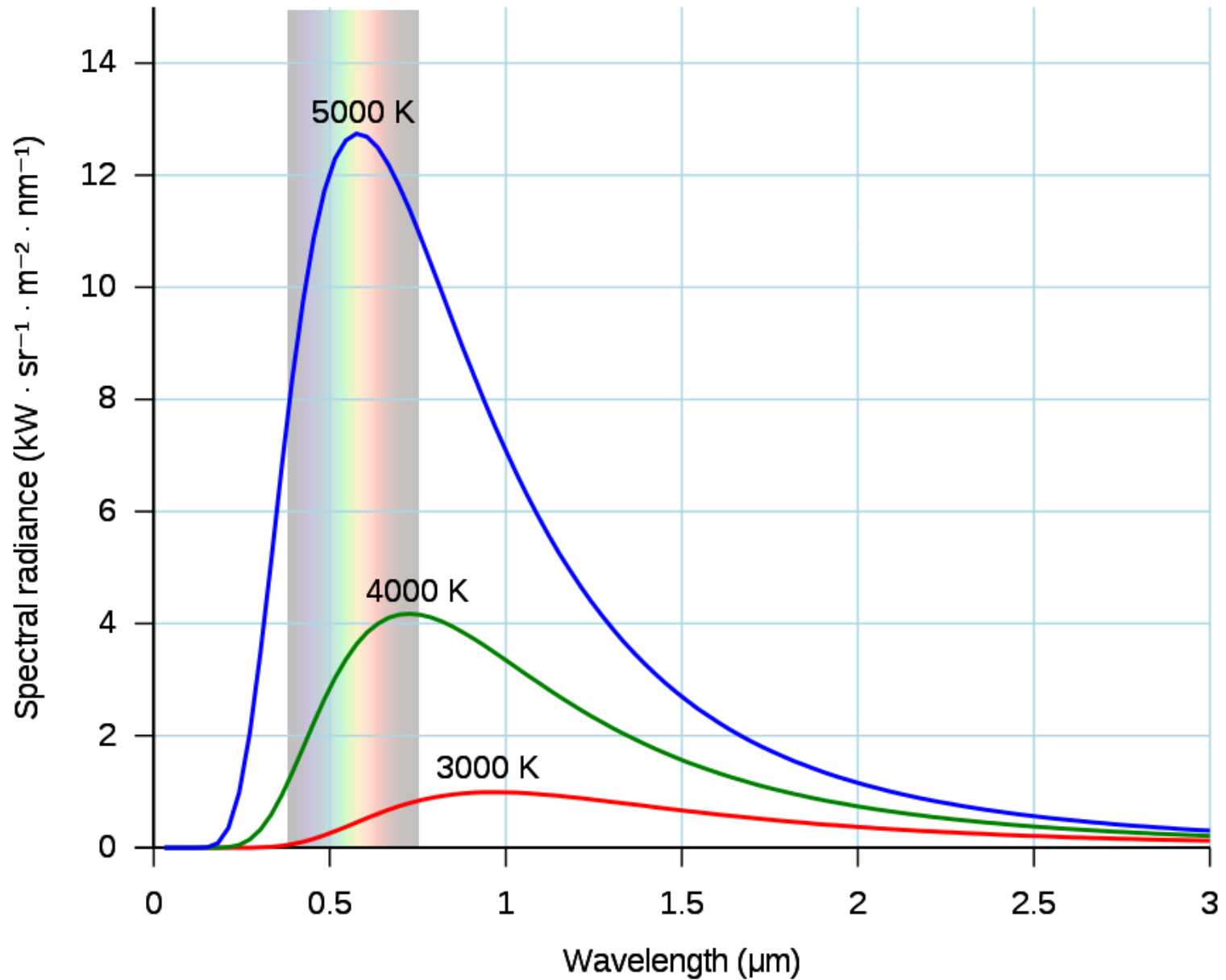


Energía radiante

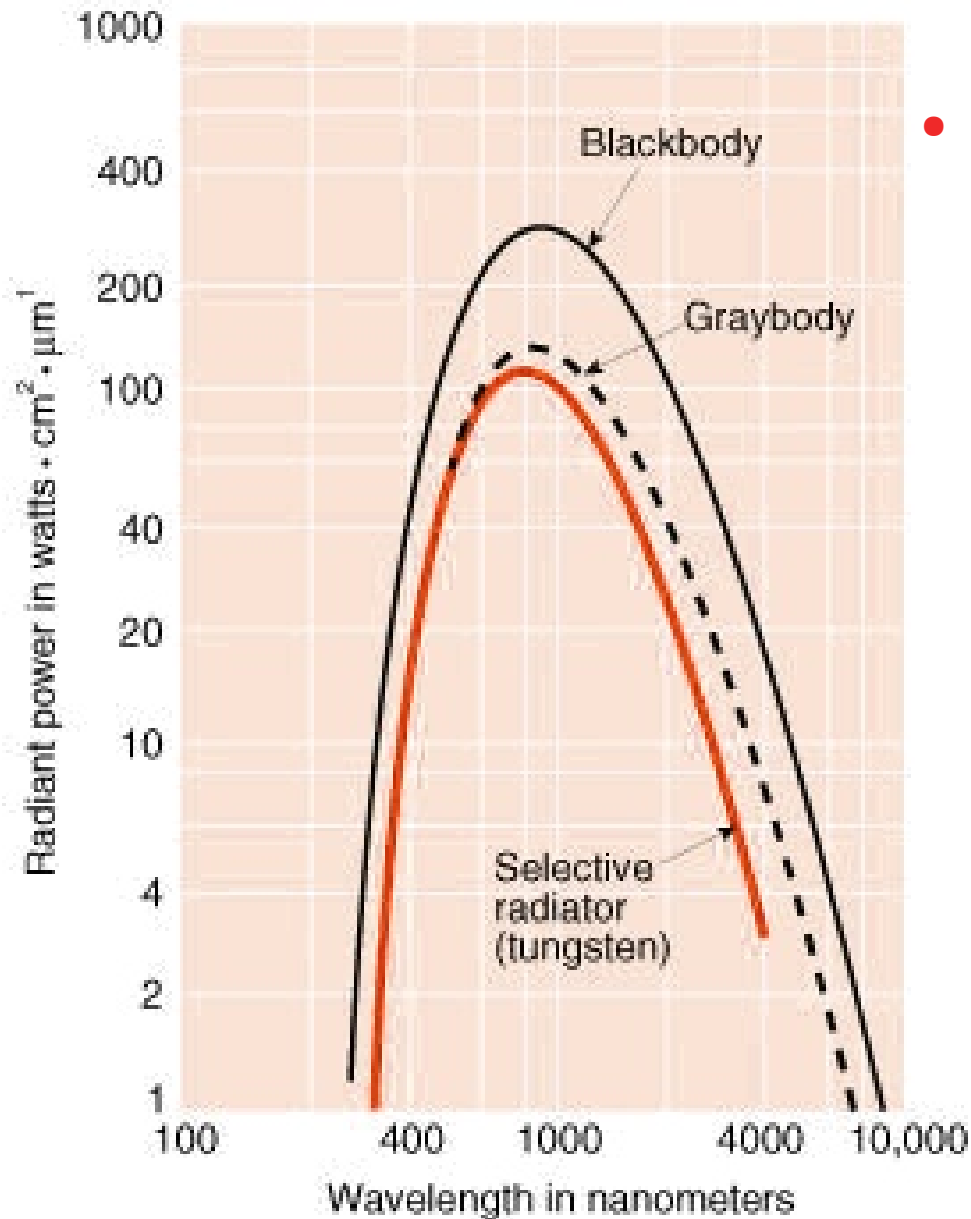
- Radiación de cuerpo negro
 - Se utiliza para caracterizar emisores luminosos
- Ningún emisor real iguala al cuerpo negro



Energía radiante



Energía radiante



- Emisividad espectral

- $\varepsilon(\lambda)$ se define como el cociente

emisión del cuerpo real

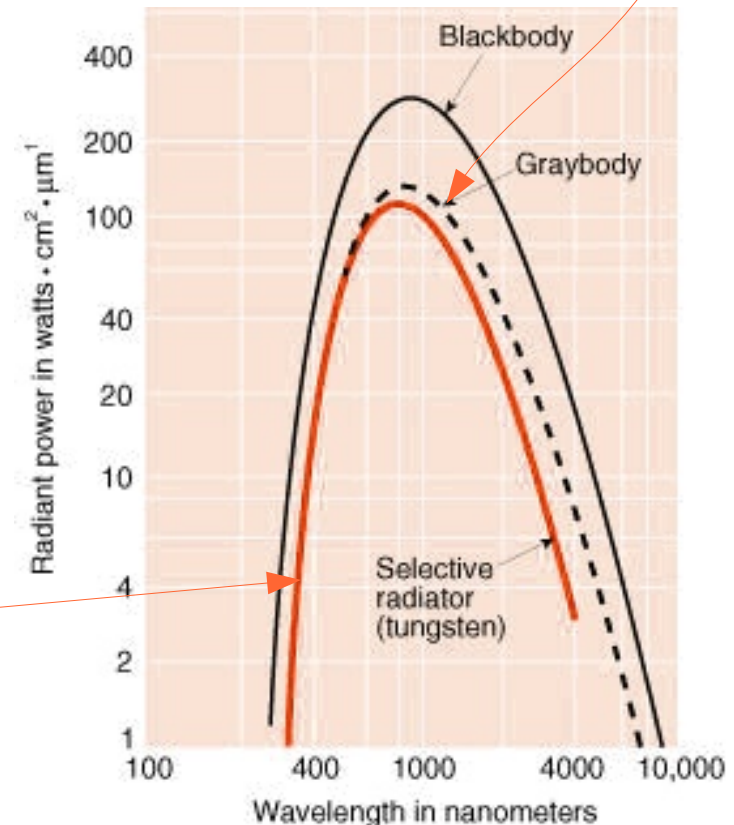
emisión del cuerpo negro

para cada frecuencia

← emisores a 3000 K

Energía radiante

- Cuerpo gris
 - Es aquel emisor que presenta $\varepsilon(\lambda) = cte \forall \lambda$
 - No existe uno que cubra todo el espectro
 - Para la luz visible
 - filamento de carbón
- Radiador selectivo
 - Emisividad varía con λ
 - Ejemplo: tungsteno

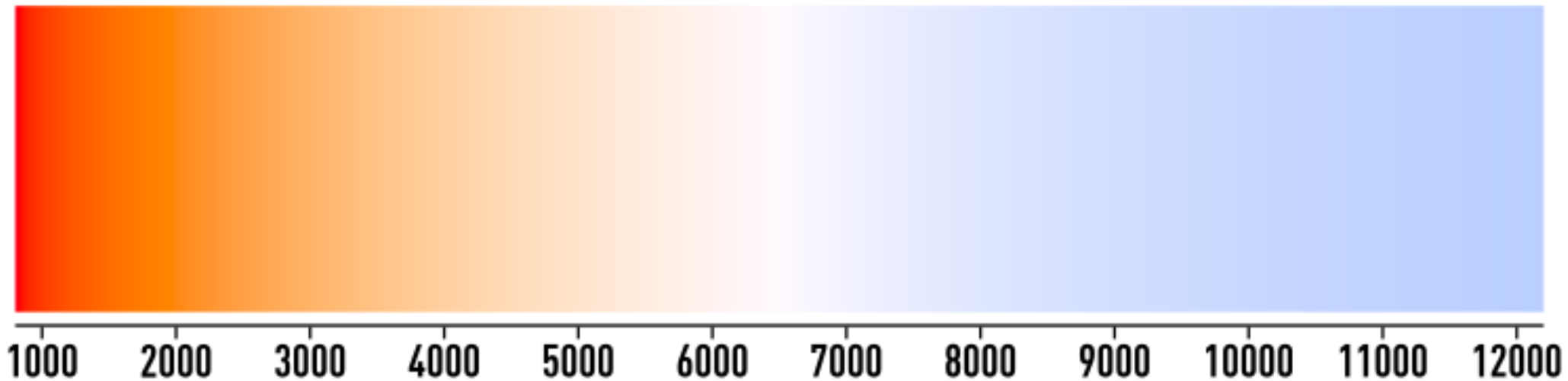


Energía radiante

- El espectro emitido por un cuerpo negro queda completamente determinado informando
 - su temperatura
 - magnitud de emisión para una longitud de onda
- ¿Por qué?
 - La forma de su espectro está determinada para cada temperatura
 - basta conocer un punto

Energía radiante

- Solo indicando la temperatura del cuerpo negro
→ se tiene el color

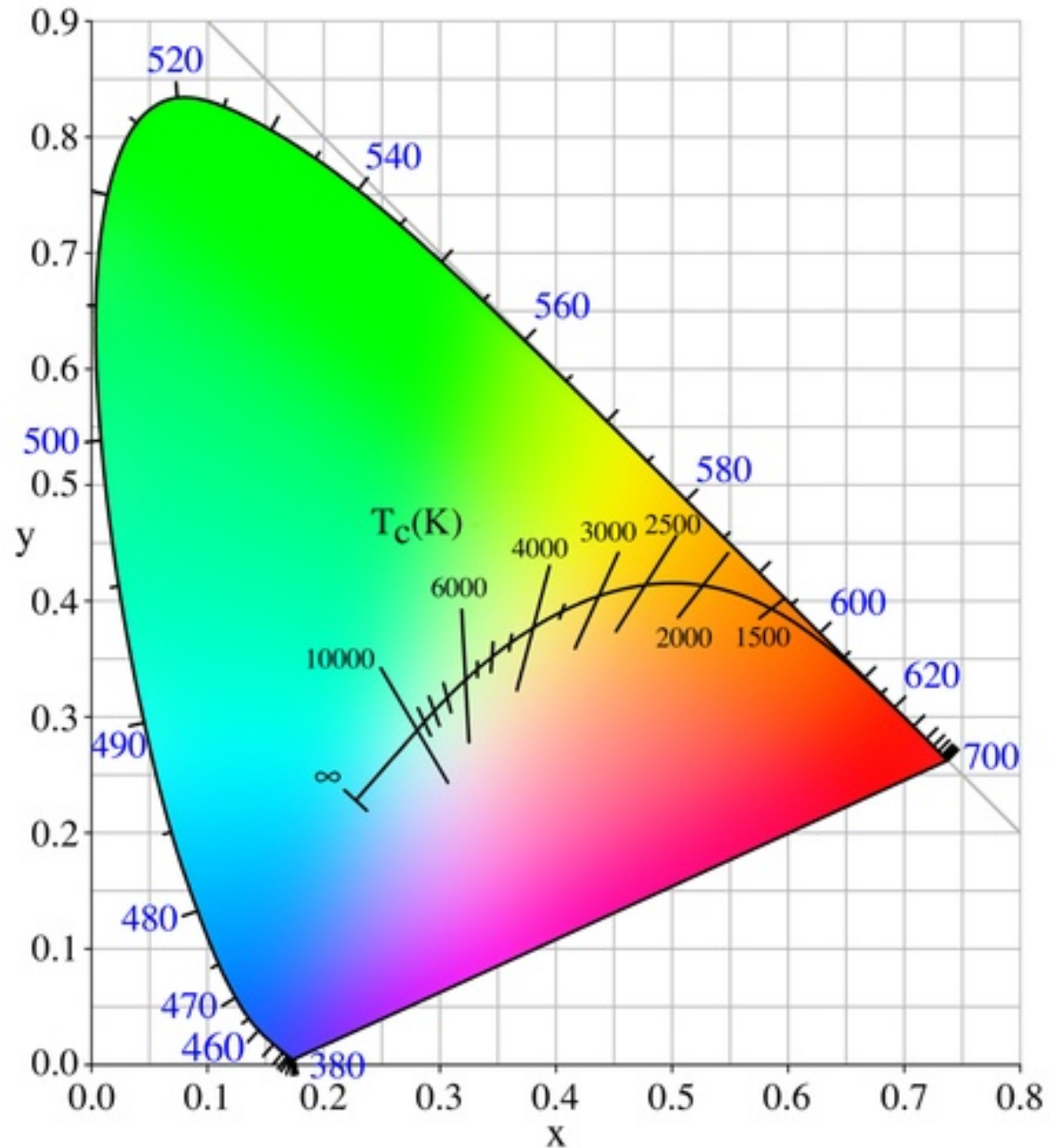


Color de un cuerpo negro entre 800 K y 12200 K

- Esto es lo que se conoce como *luz blanca*

Energía radiante

- Emisividad de cuerpo negro en el espacio de color

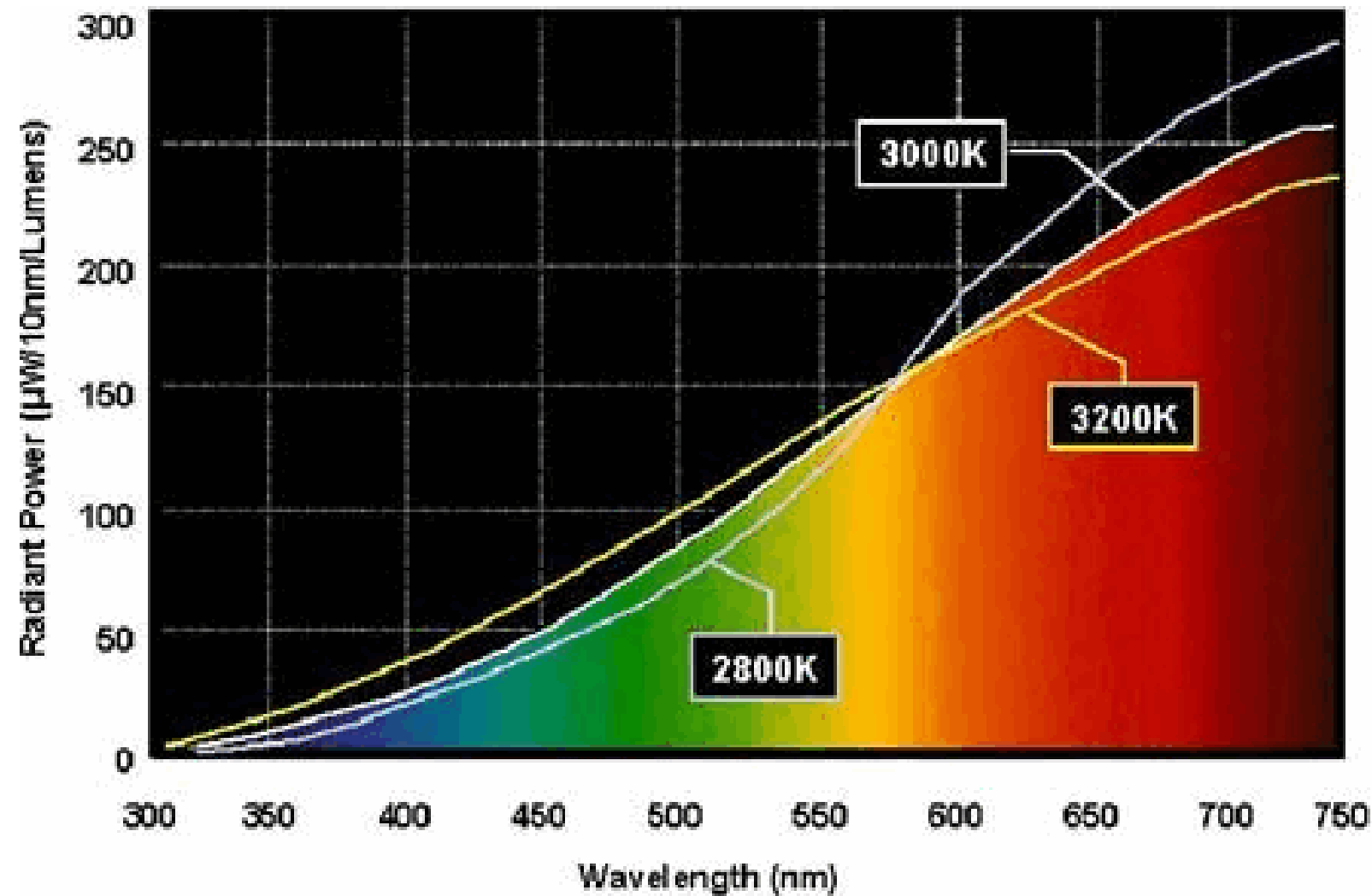


Energía radiante

- En la región visible, un emisor incandescente tiene un patrón de emisión similar al cuerpo negro
 - pero a otra temperatura
- **Temperatura de color**
 - Def.: *Es aquella a la cual un cuerpo negro emitiría igual color al emisor caracterizado*
 - solo para fuentes incandescentes
 - brinda información de color y contenido espectral
- Otras fuentes: Temperatura correlacionada de color
 - solo si “cerca” del blanco

color se verá mas adelante...

Energía radiante



Fuente
incandescente

Temperaturas
de color:

2800 K

3000 K

3200 K

Energía radiante

- **Temperatura de distribución**
 - Def.: *Es aquella a la cual un cuerpo negro emitiría con la distribución espectral mas similar al emisor caracterizado*
 - Otra temperatura ficticia asociada al cuerpo negro
 - Solo tiene sentido para fuentes incandescentes



Magnitudes radiométricas

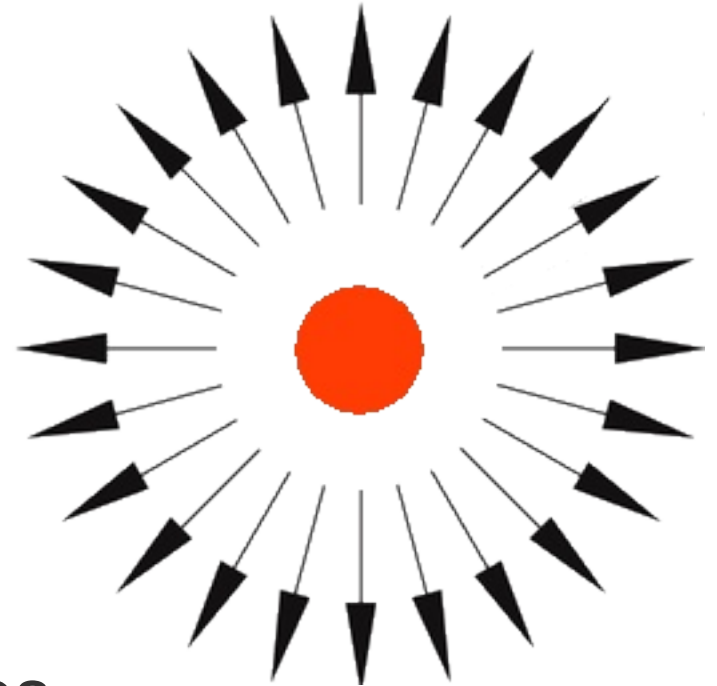
Magnitudes radiométricas

- **Potencia o flujo radiante [Φ]**

- Corresponde al total emitido por una fuente

- hacia todas las direcciones
 - en todas las frecuencias (o longitudes de onda)
 - por unidad de tiempo (es potencia)

- Se mide en Watt [W]

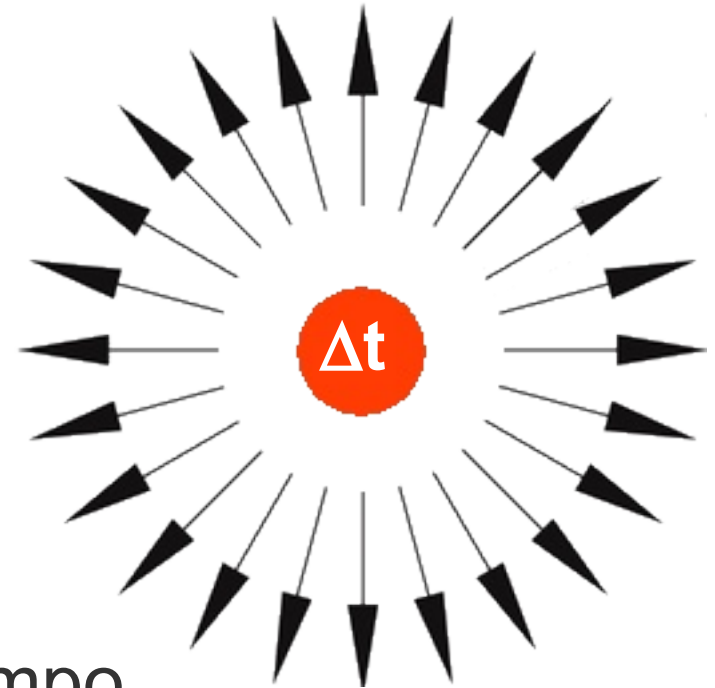


Magnitudes radiométricas

- **Energía radiante [Q]**
 - Corresponde al flujo radiante total emitido por una fuente durante un cierto intervalo de tiempo
 - se halla integrando en el tiempo el flujo radiante
 - si el flujo radiante es constante

$$Q = \Phi \Delta t$$

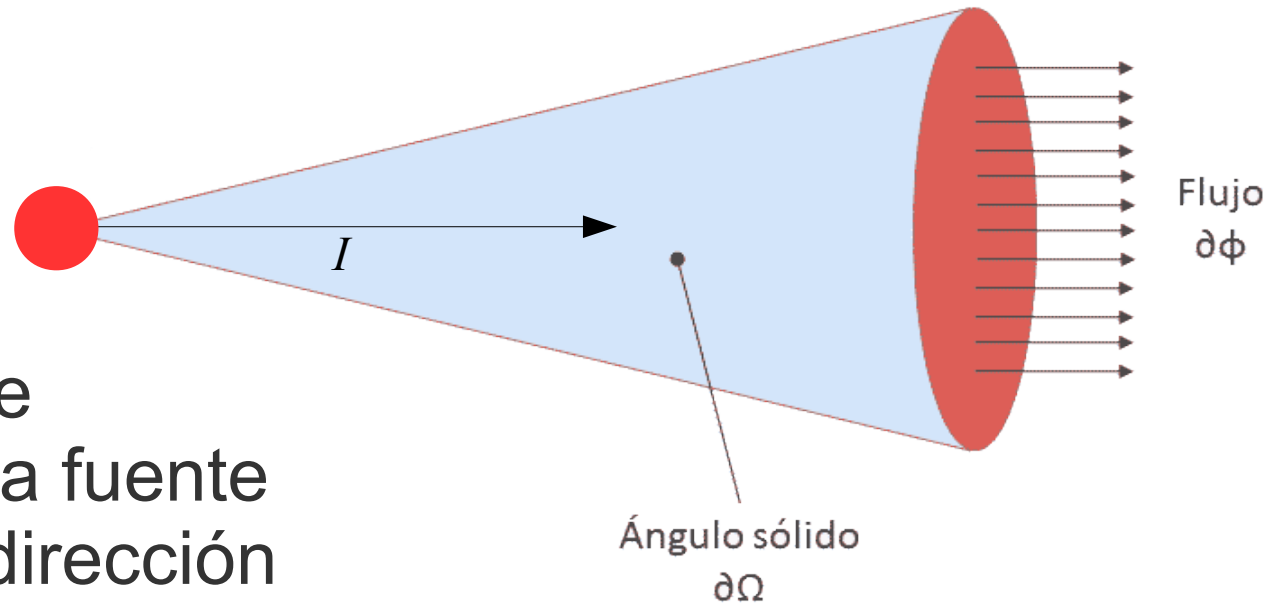
- Se mide en Joules [J]



Magnitudes radiométricas

- **Intensidad radiante [I]**

- Corresponde al flujo radiante emitido por una fuente en una cierta dirección



- se halla integrando en las direcciones, tomando un diferencial de ángulo sólido hacia la dirección de interés
- es una magnitud vectorial, asociada a una dirección
- Se mide en Watt por estereorradián [W/sr]

Magnitudes radiométricas

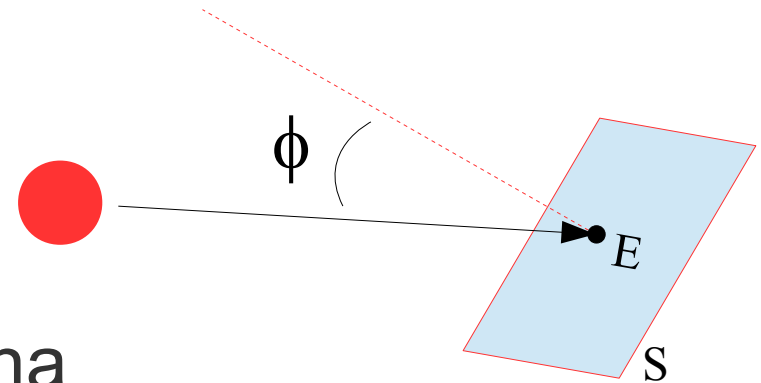
- **Irradiancia [E]**

- Corresponde al flujo radiante que incide sobre una superficie, por unidad de superficie

- se halla integrando la componente normal de la intensidad proyectada sobre un diferencial de superficie
- si la intensidad es constante sobre la superficie

$$E = I S \cos \phi$$

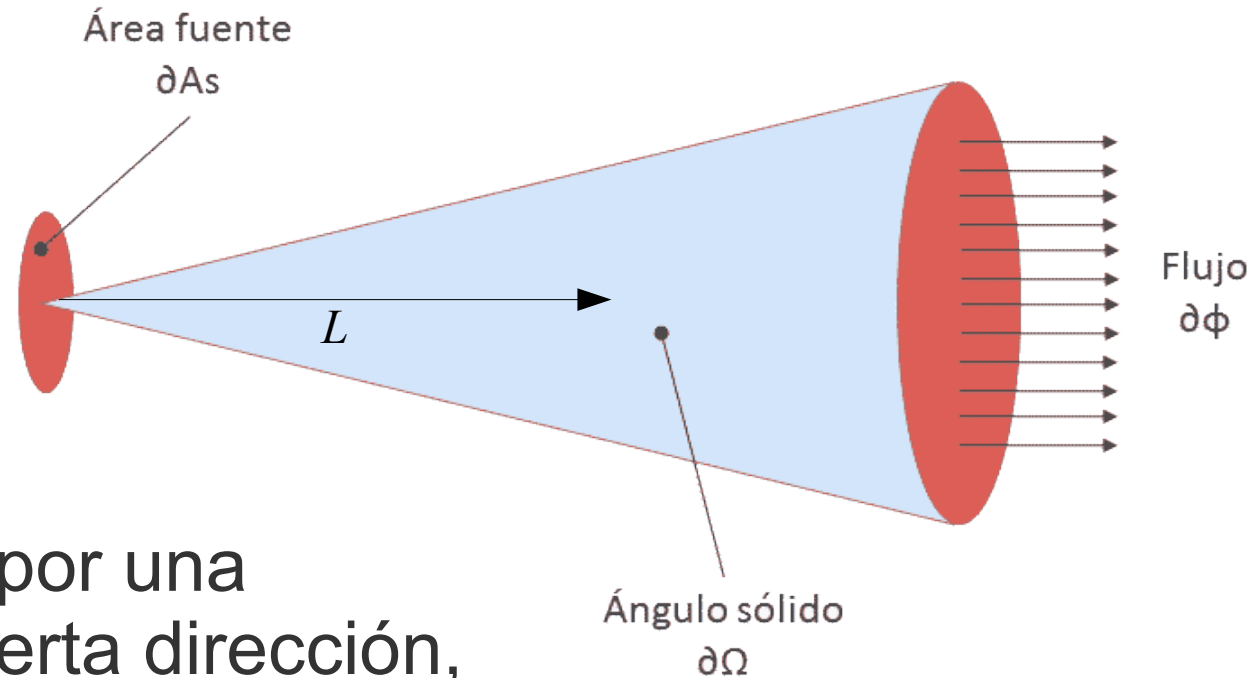
- Se mide en Watt por metro cuadrado [W/m^2]



Magnitudes radiométricas

- **Radiancia [L]**

- Corresponde a la intensidad radiante emitida por una fuente, en una cierta dirección, por unidad de superficie de la fuente emisora
 - igual que la intensidad es una magnitud vectorial, asociada a una dirección
- Se mide en Watt por estereorradián por metro cuadrado [$W/(sr\ m^2)$]

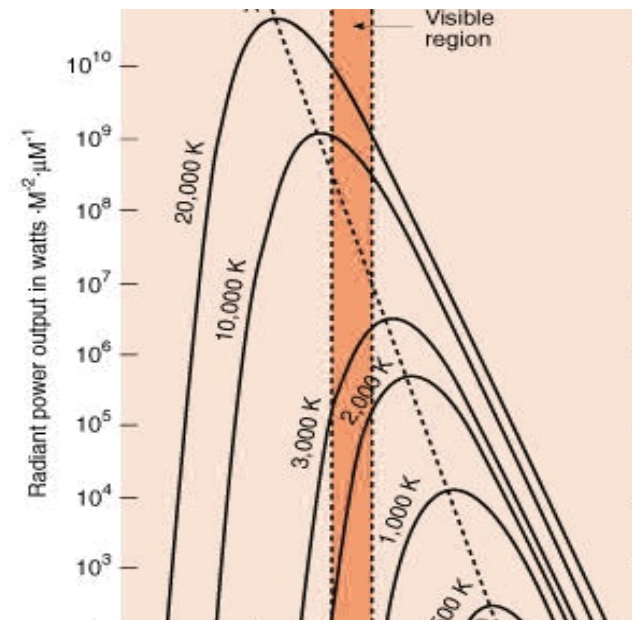


Magnitudes radiométricas

- **Radiancia espectral [L_λ]**

- Es la radiancia ponderada por longitud de onda
- Se mide en Watt por estereorradián por metro cúbico [$W/(sr\ m^3)$]
- Habitualmente se expresa en
 $W/(sr\ m^2\ nm)$

La usamos para la radiación de cuerpo negro...



Magnitudes radiométricas

- **Irradiancia espectral [E_λ]**

- Es la irradiancia ponderada por longitud de onda
- Se mide en Watt por metro cúbico [W/m^3]
- Habitualmente se expresa en

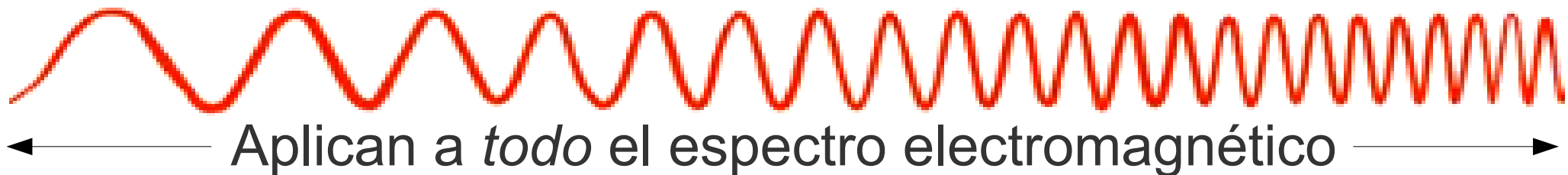
$$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ nm})$$

Radiancia \rightarrow Radiancia espectral

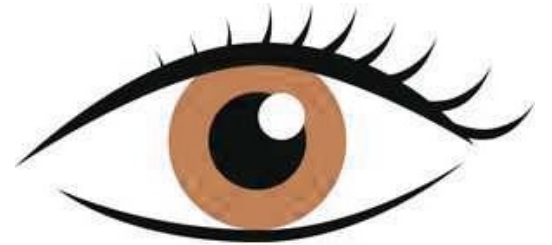
Irradiancia \rightarrow Irradiancia espectral

Magnitudes radiométricas

- Hasta aquí definimos
 - Flujo radiante Φ
 - Energía radiante Q
 - Intensidad radiante I
 - Irradiancia E
 - Radiancia L
 - Radiancia espectral L_λ
 - Irradiancia espectral E_λ

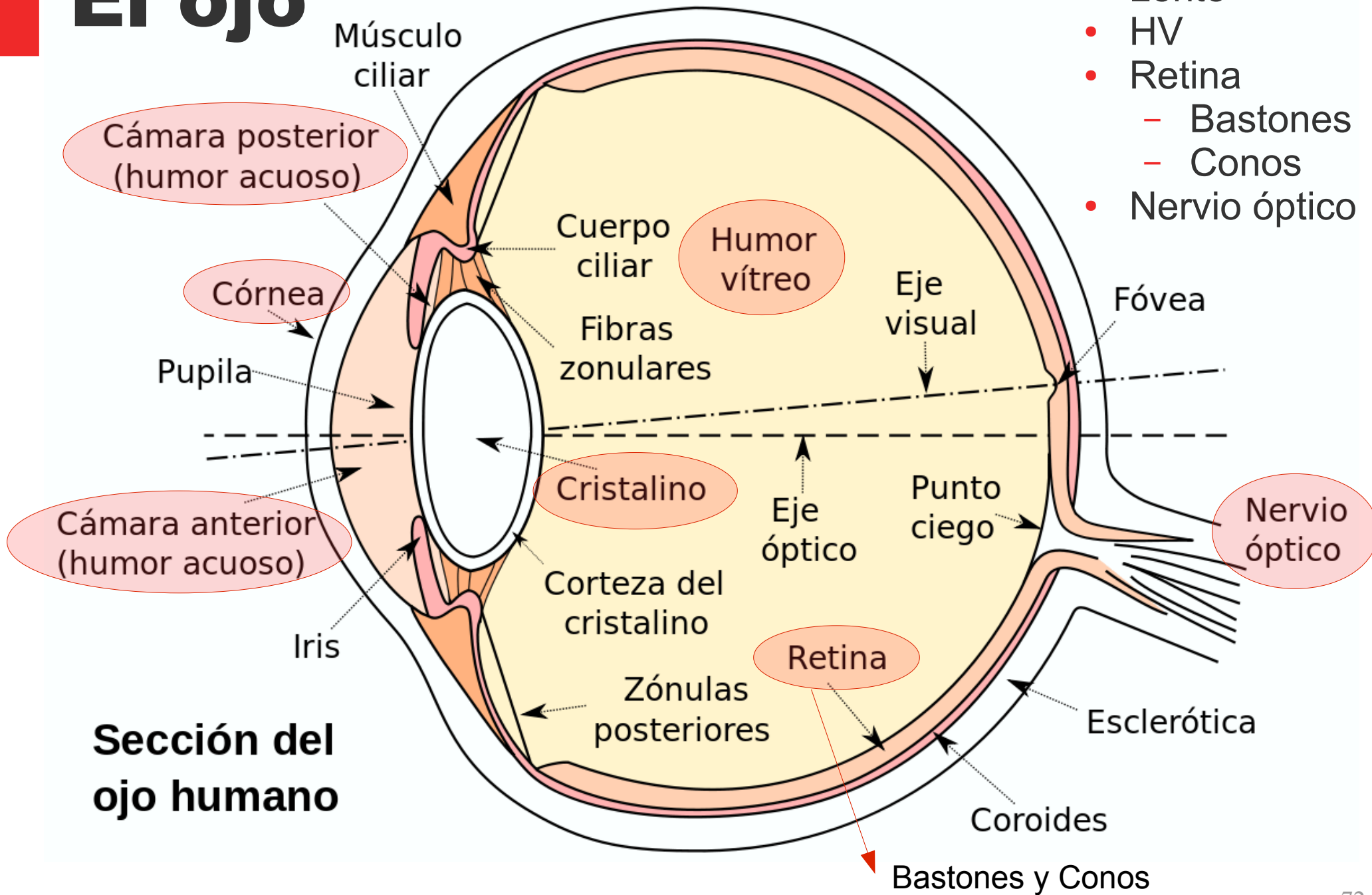


El ojo



El ojo

- Córnea
- HA
- Lente
- HV
- Retina
 - Bastones
 - Conos
- Nervio óptico

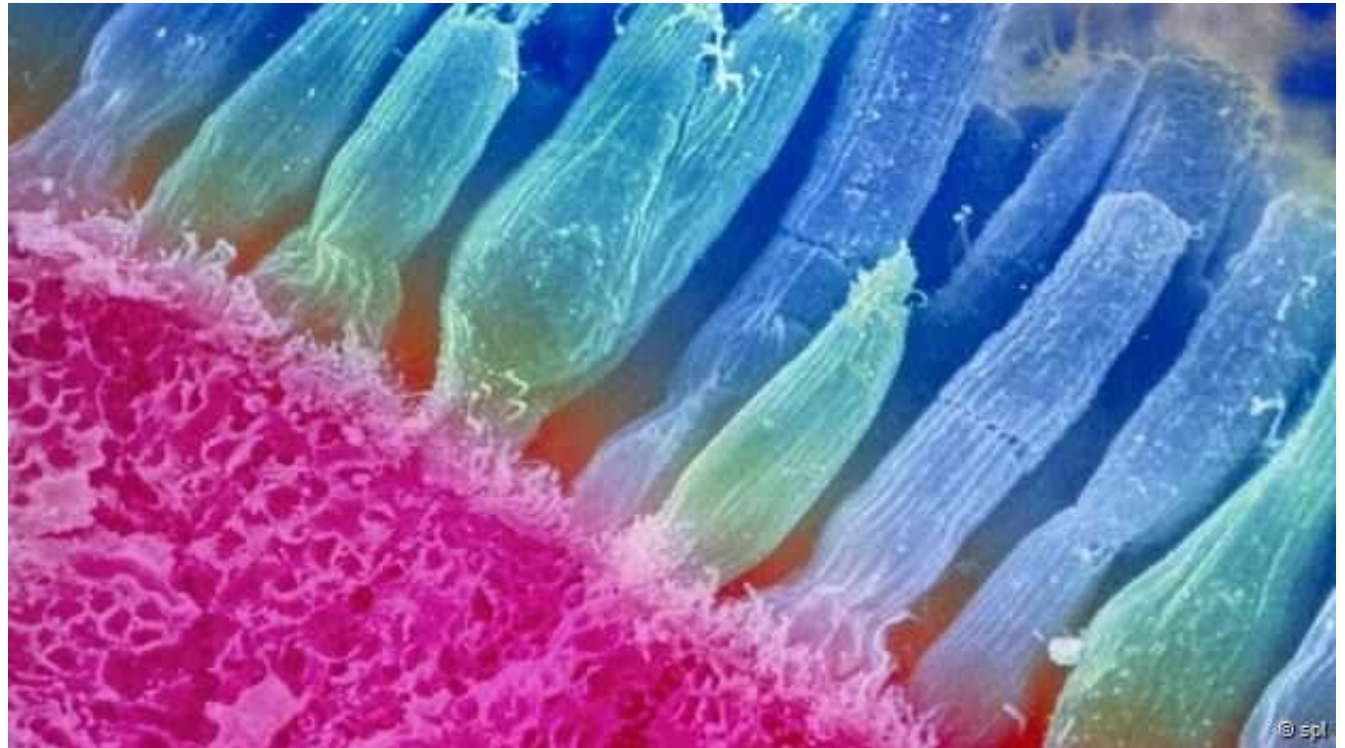


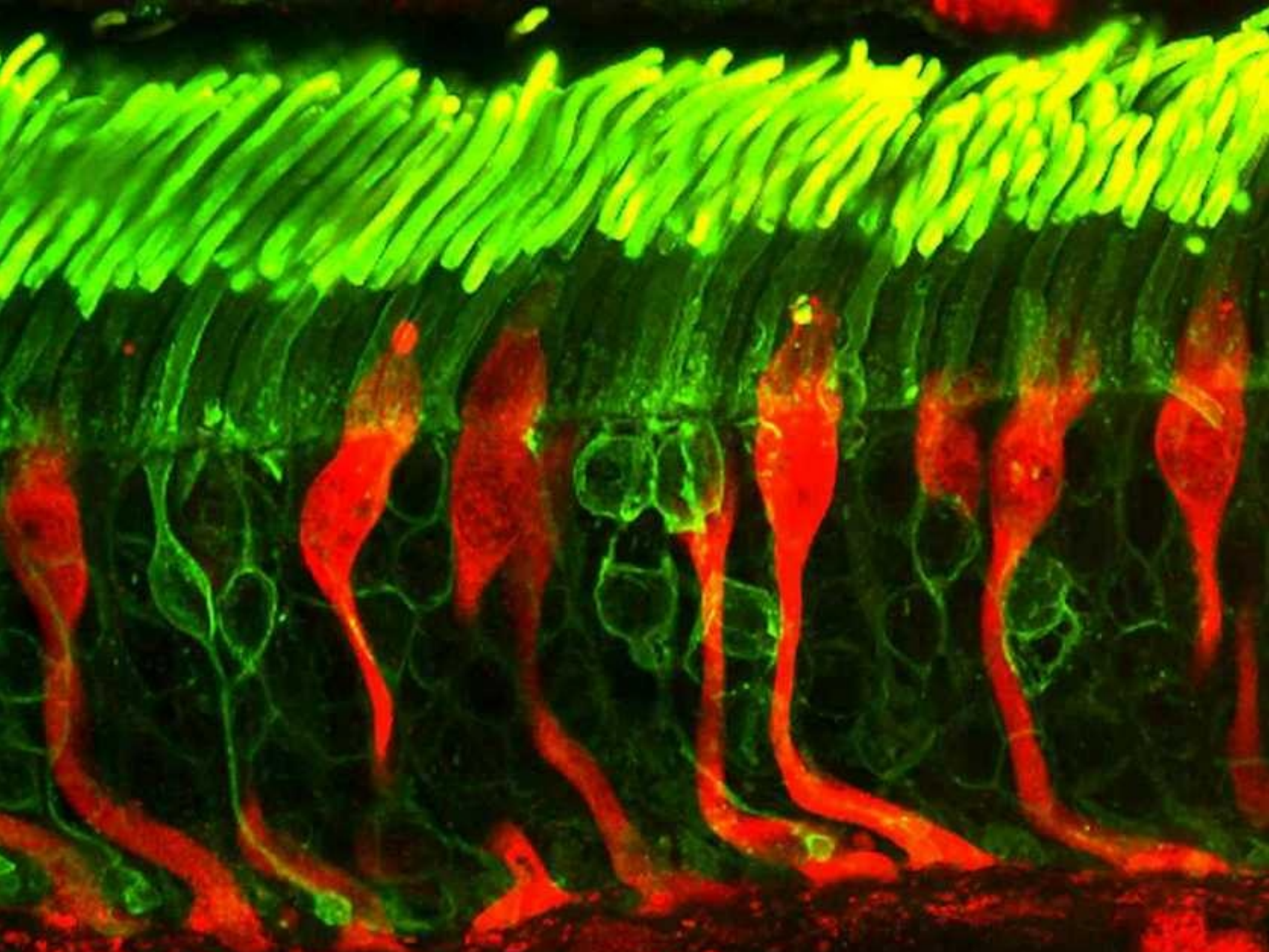
El ojo

- Recorrido de la luz
 - Córnea: 40 dioptrías, aire → medio acuoso
 - Humor acuoso
 - Lente (cristalino): 15 dioptrías, acomodación
 - Humor vítreo
 - Retina: donde están los receptores
 - Nervio óptico: señal eléctrica al cerebro
- Potencia óptica del ojo: ~55 dioptrías

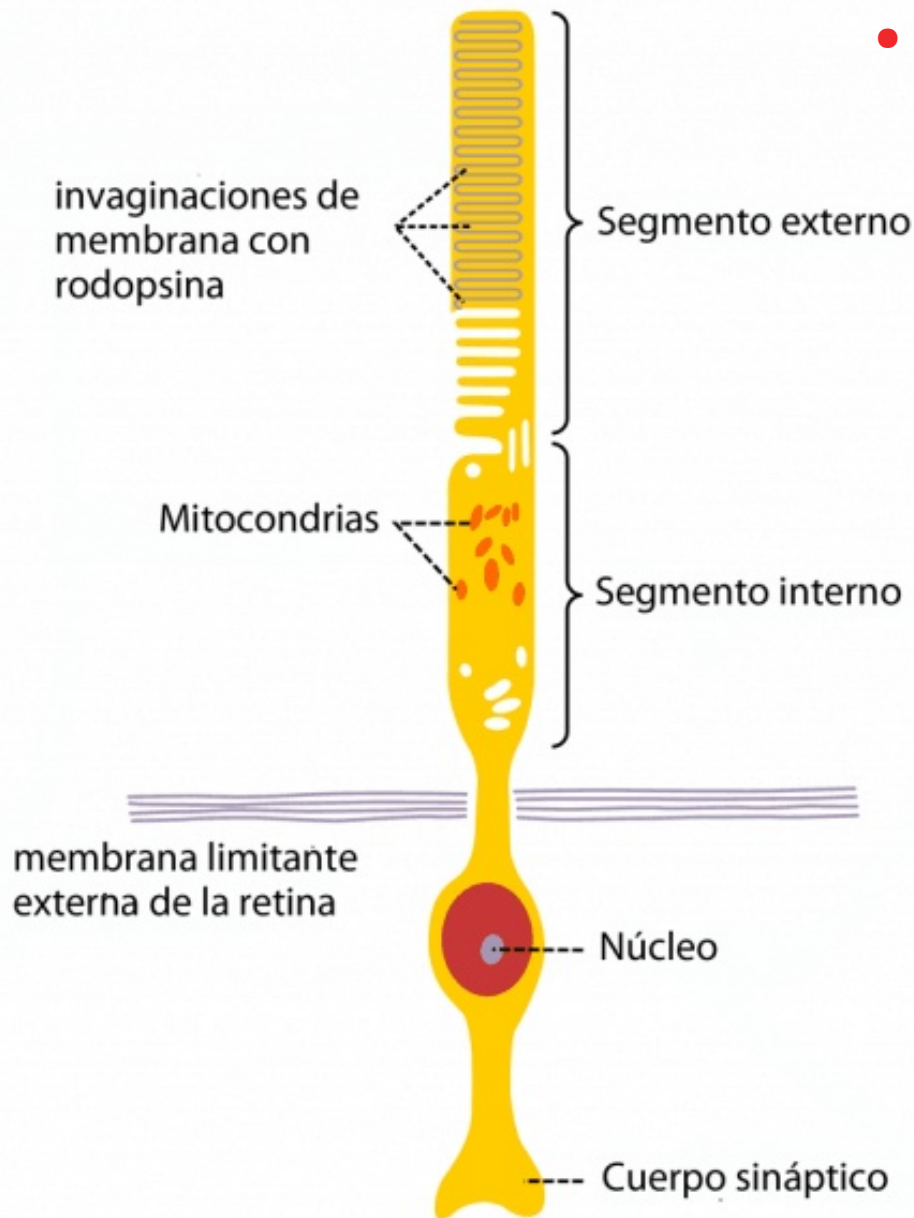
El ojo – fotorreceptores

- Receptores
 - Son las células encargadas de convertir la luz en señales eléctricas
- Dos clases de receptores
 - Bastones
 - Conos





El ojo – fotorreceptores



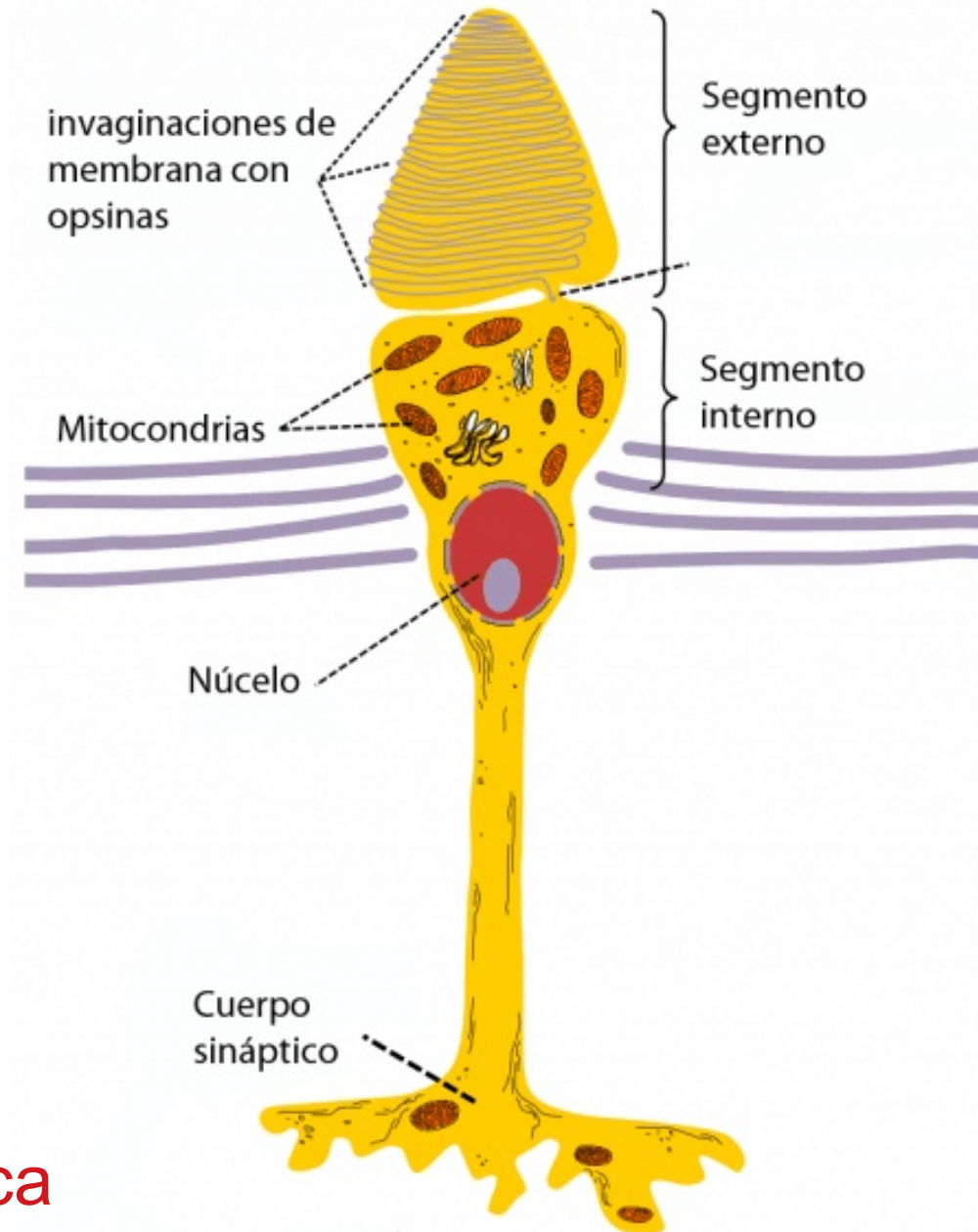
- **Bastones**

- Son desde el punto de vista evolutivo el sistema visual más antiguo
- Muy sensibles a la luz y a los movimientos, no distinguen colores
- Conectan varios en paralelo a terminales nerviosas
- Distribuidos por toda la retina, visión periférica
75 a 150 millones
- Dan lugar a la visión **escotópica**

El ojo – fotorreceptores

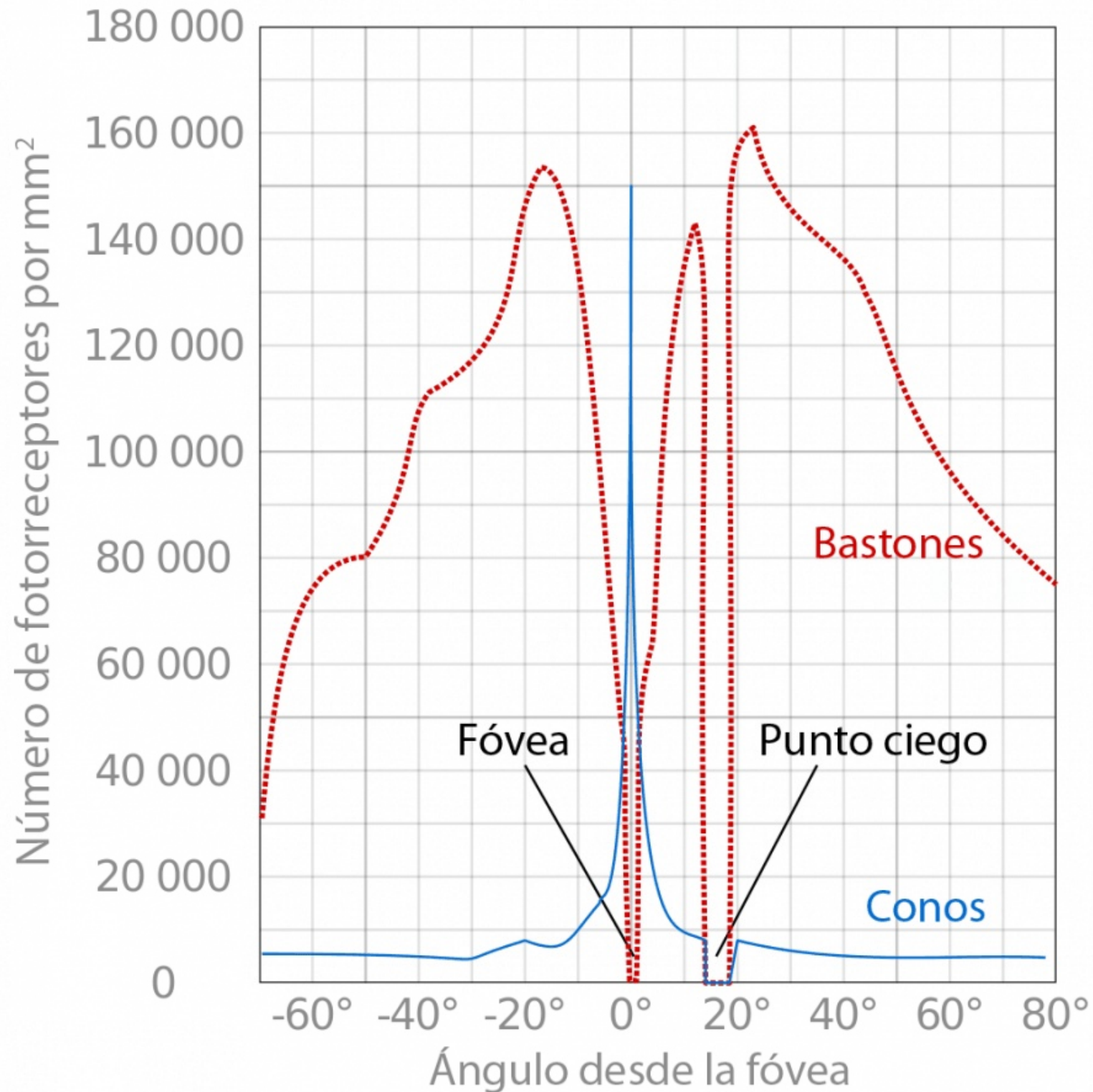
- **Conos**

- Se activan con niveles lumínicos altos
- Permiten ver colores
 - 3 tipos, uno para cada color: β , γ , ρ
- Conectan cada uno a una terminal nerviosa
- Concentrados en la fovea, visión de detalle
6 a 7 millones
- Dan lugar a la visión **fotópica**



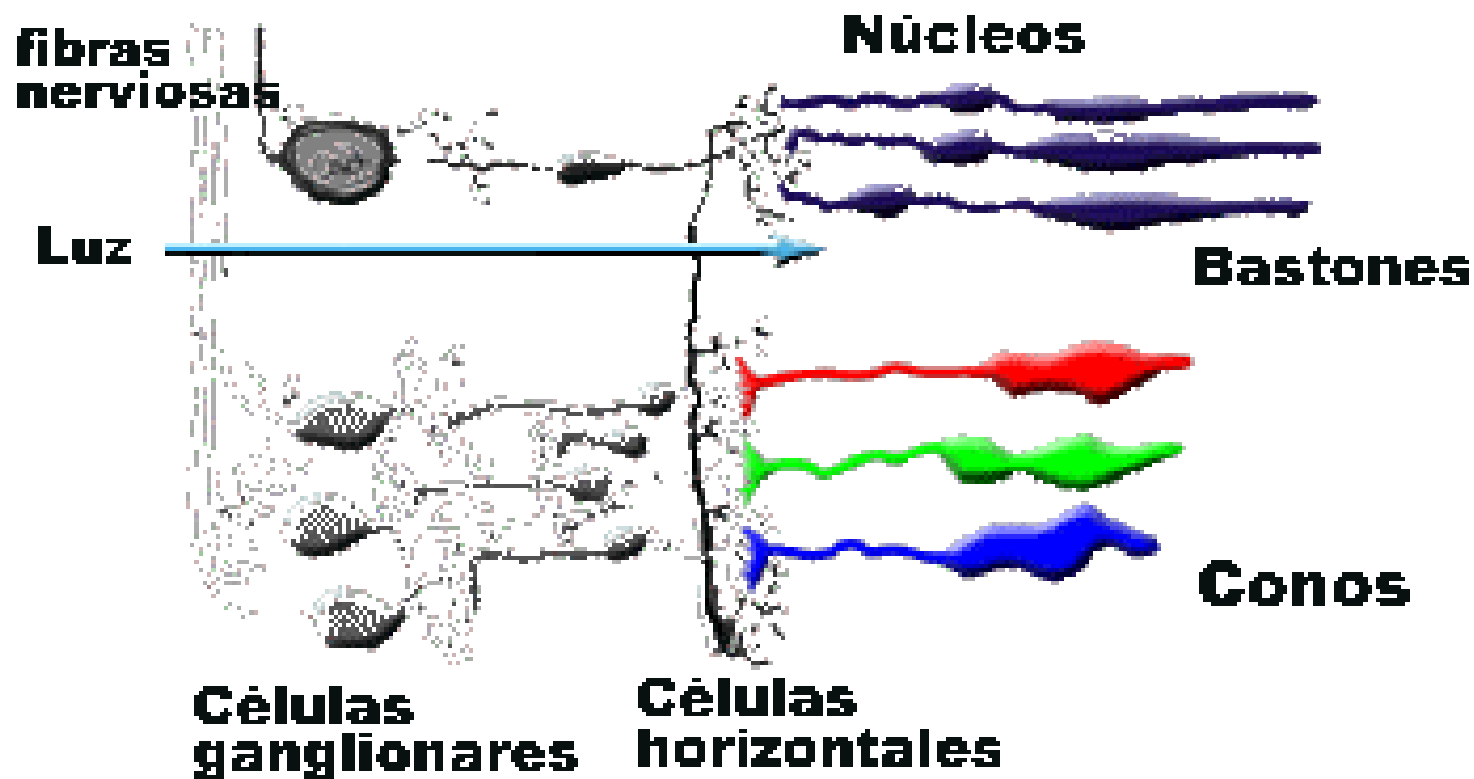
El ojo

- Distribución de fotorreceptores en la retina – corte vertical



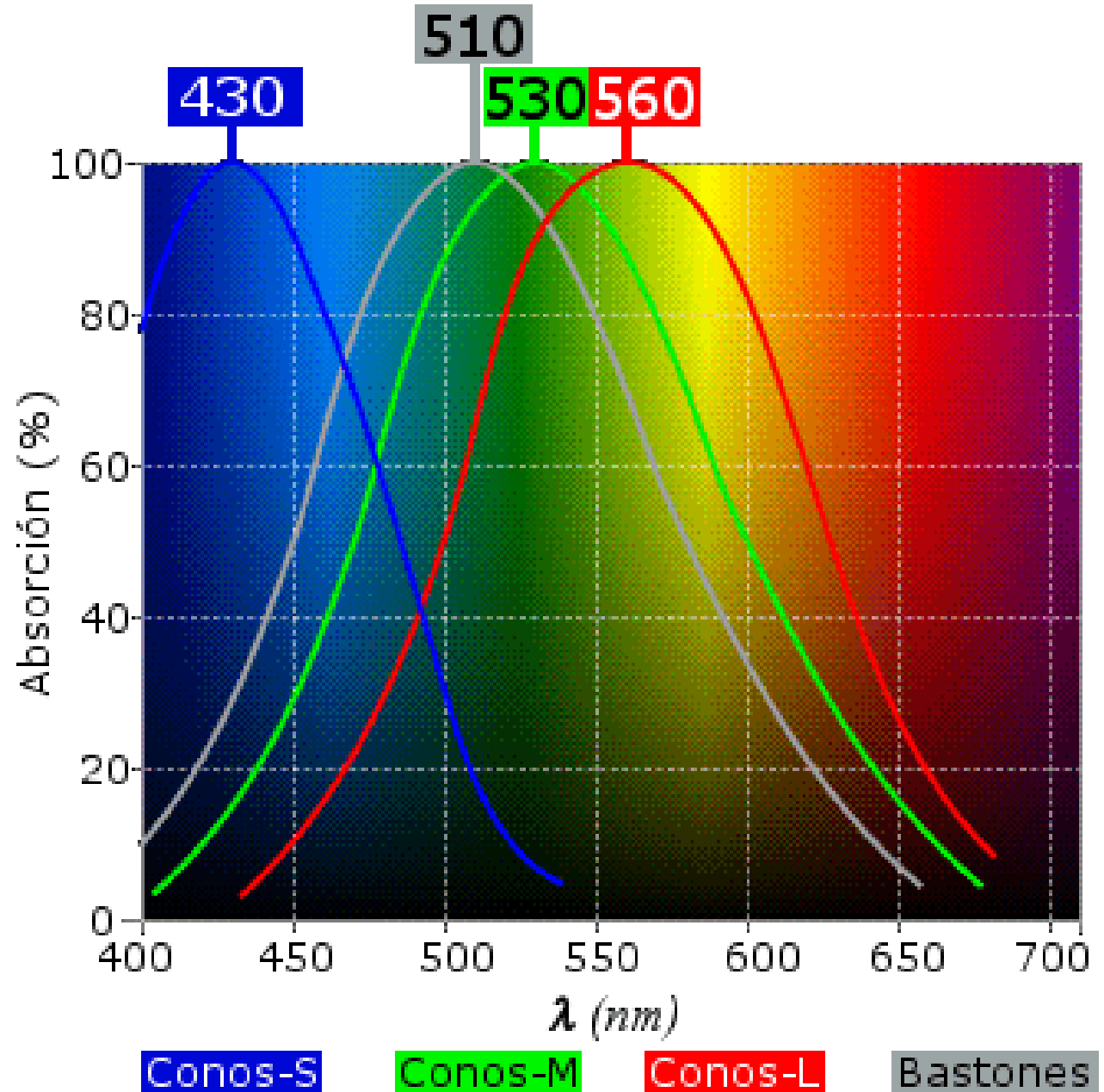
El ojo – fotorreceptores

- Esquema de conexión y ubicación en la retina



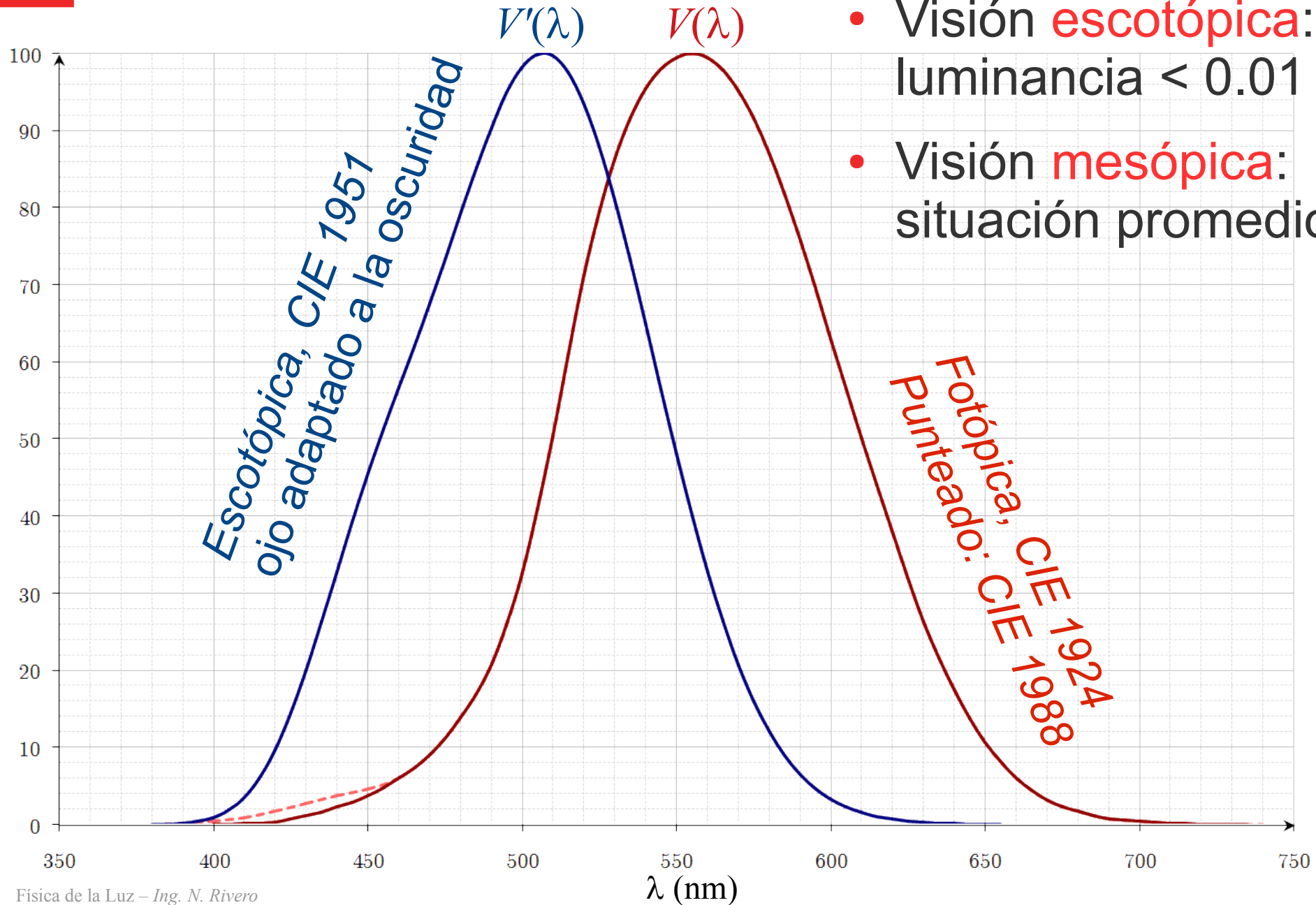
El ojo – fotorreceptores

- Curvas de respuesta de los fotorreceptores



El ojo – visión

- Visión **fotópica**:
luminancia $> 10 \text{ cd/m}^2$
- Visión **escotópica**:
luminancia $< 0.01 \text{ cd/m}^2$
- Visión **mesópica**:
situación promedio



Escotópica, CIE 1951
ojo adaptado a la oscuridad

Fotópica, CIE 1924
Punteado: CIE 1988

El ojo – visión

- **Visión fotópica**

- Sensibilidad máxima en 555 nm (verde-amarillo)
- La visión se produce completamente a través de los conos

- **Visión escotópica**

- La sensibilidad máxima está en los 507 nm (azul)
- La visión se produce casi exclusivamente a través de los bastones: se distinguen las formas pero no los colores

- **Visión mesópica**

- Ambos fotorreceptores comparten la visión

El ojo – visión

- Vimos...
- El ojo como sensor
 - Filtro pasabanda para el espectro electromagnético
 - Respuesta variable en función de la radiancia recibida
 - Fotópica
 - Escotópica
 - Mesópica
- *Tener presente: curvas normalizadas → ojo promedio, cada persona tiene una respuesta única*

LUZ – definición

- Habiendo llegado hasta aquí, recordemos la pregunta inicial
 - ¿Qué es la luz?
- *La luz es aquella parte de la energía radiante que excita las células receptoras de nuestro sistema visual*
- o como dice la IESNA
 - “radiant energy that is capable of exciting the human retina and creating a visual sensation”