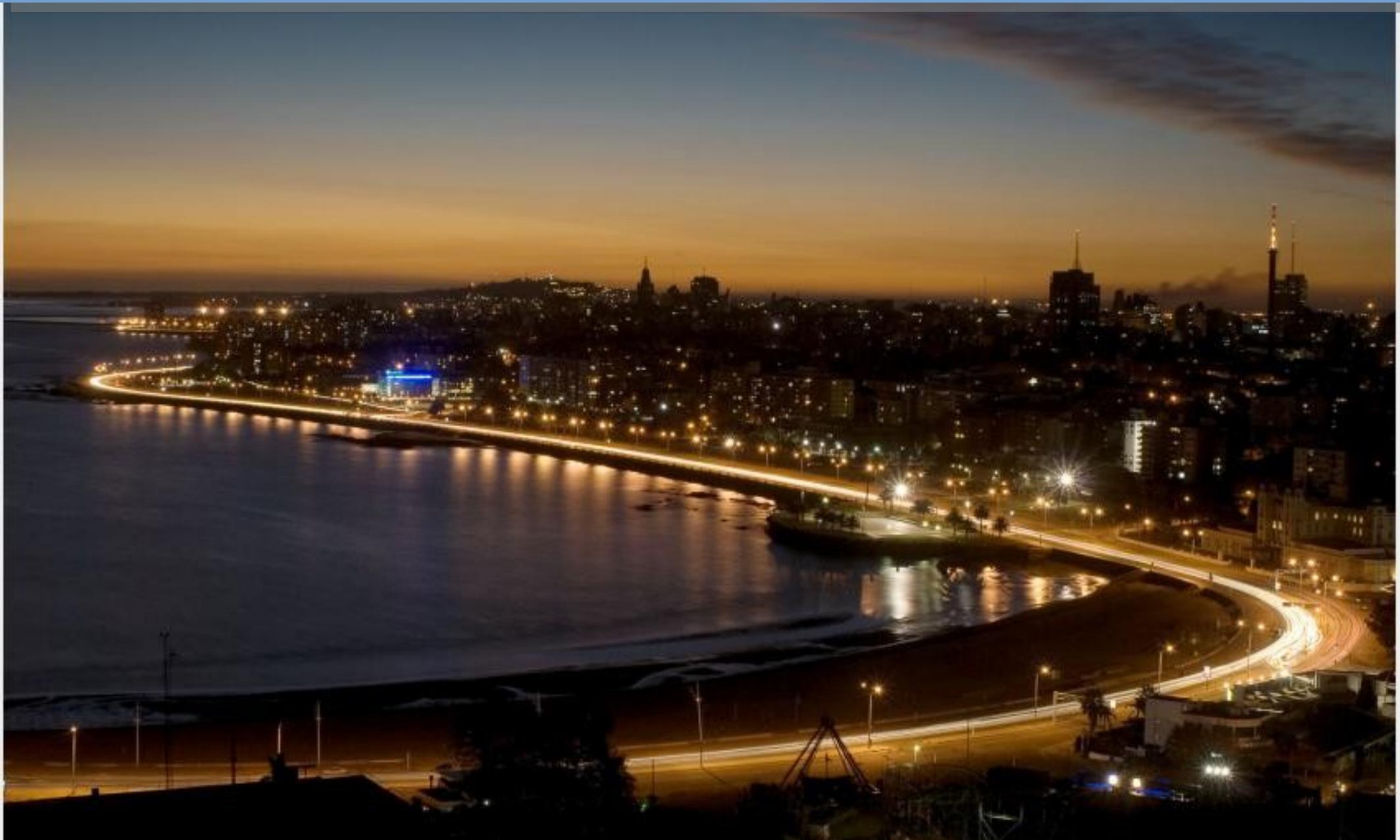


Curso de Iluminación LED – Clase 1, Teoría de la luz

Convenio I.M.M. - Universidad de la República



1

2018

Curso Iluminación LED de la I.M.M.
Ing. Michael Varela – Teoría de la luz

¿Por qué trabajamos con la luz?



- Los hombres demandan iluminación artificial para poder continuar con sus actividades, ante la ausencia de luz natural.
- El origen de la vela tiene aprox 30.000 años.
- La utilizaban artistas rupestres para realizar sus trabajos en cavernas.



Parece que es un tanto difícil leer

Rojo y azul, los colores de estas líneas

En el curso veremos por qué este tipo de cosas pasan

Y como evitar que sucedan

Sin embargo no hay problemas

Si los colores son similares

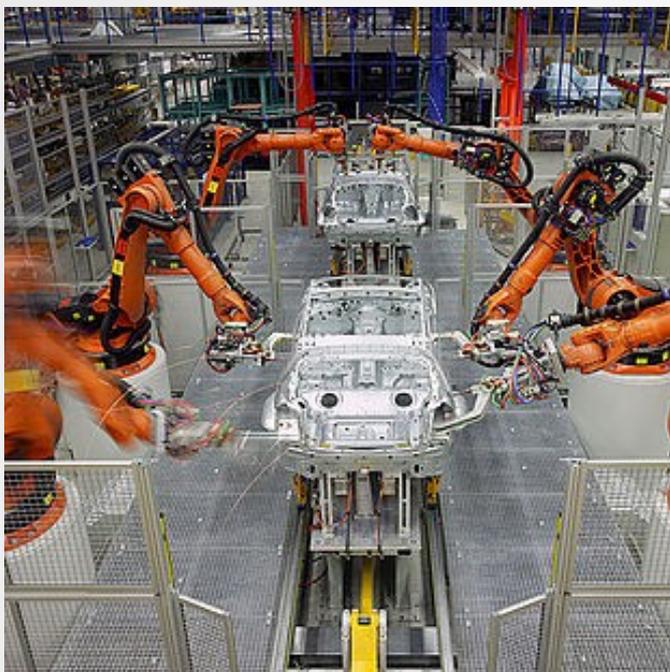


¿Como funciona nuestro sistema visual?

AMARILLO AZUL NARANJA
NEGRO ROJO VERDE
MARRÓN AMARILLO AZUL
NARANJA NEGRO ROJO
VERDE MARRÓN



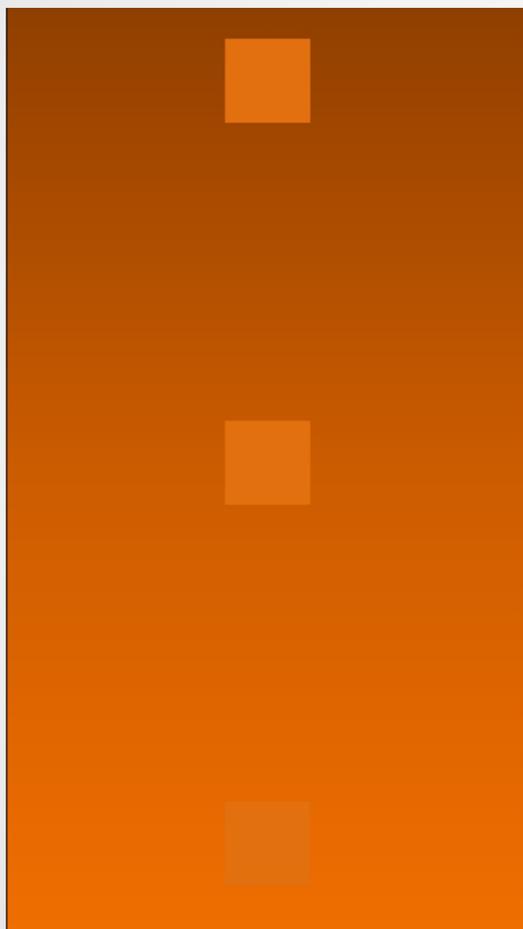
¿Qué es la Luz?



- Según la IESNA "La energía radiante capaz de excitar la retina del ojo humano y crear una sensación visual"
- La luz es una sensación.
- Solo tiene sentido debido al sistema visual humano. Una línea automatizada podría estar a oscuras y no habría cambios.



¿Cómo trabajar con sensaciones?

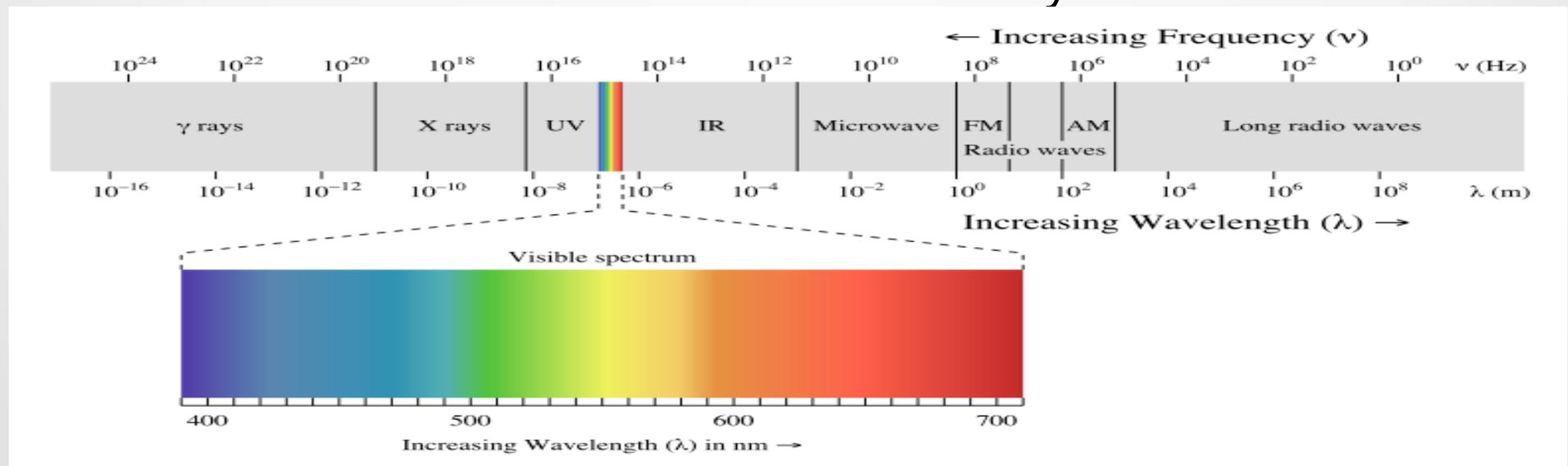


- Las sensaciones no pueden ser medidas y por lo tanto no pueden ser comparadas.
- Sin embargo un sistema básico es necesario para trabajar, comparar y mejorar.
- Por esto definiremos la luz a partir de su causa.



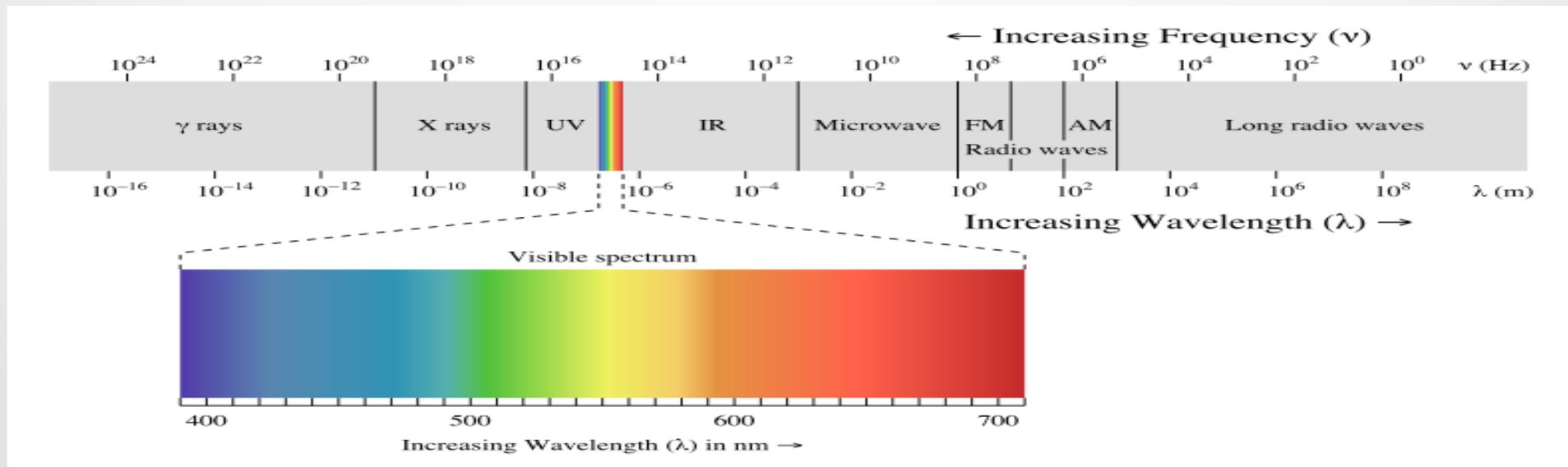
La luz como una onda (I)

- La sensación visual, es producida por energía.
- Podemos modelar esta energía como ondas Electro-Magneticas
- Ejemplo de este tipo de ondas son los rayos X o las ondas de radio.
- Para nosotros solo son de interés las onda de entre 380nm y 780nm



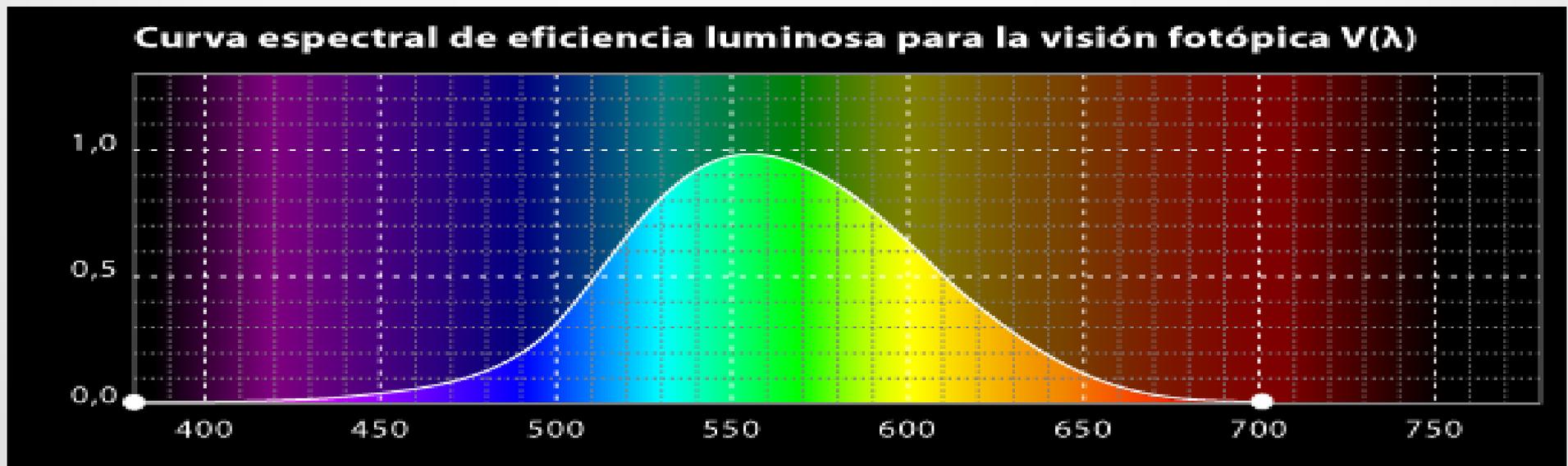
La luz como una onda (II)

- Cada frecuencia de onda genera en el sistema visual humano una sensación de color particular.
- En particular vemos que para la longitud más larga tenemos la sensación de rojo y para la más corta el violeta, pasando por en medio todos los colores del arcoiris



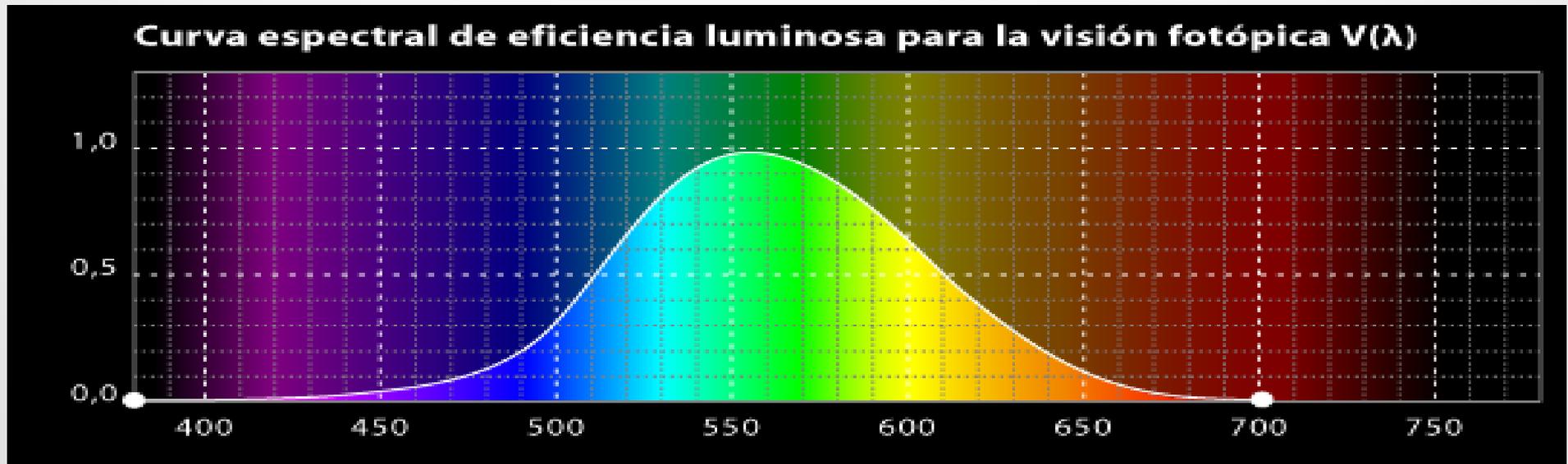
Curva de sensibilidad del ojo (I)

- Previo: Existen diferencias considerables respecto a la sensibilidad a las diferentes frecuencias entre las personas.
- Cuando vemos luz proyectada sobre una superficie, percibimos la sensación de **brillo**. Esta tampoco se puede medir.



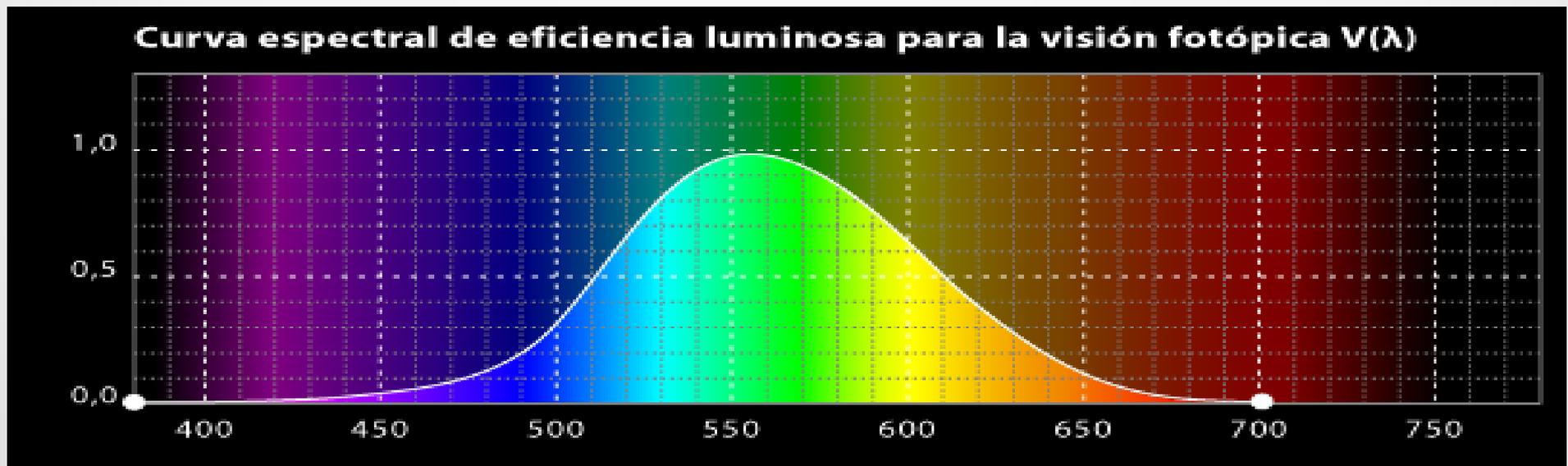
Curva de sensibilidad del ojo (II)

- El brillo se puede comparar si en el mismo plano de visión se tienen dos superficies iluminadas.
- De esta manera si se tiene una superficie iluminada con 2 fuentes de diferente color, se puede comparar e identificar cuando generan la misma sensación de brillo.



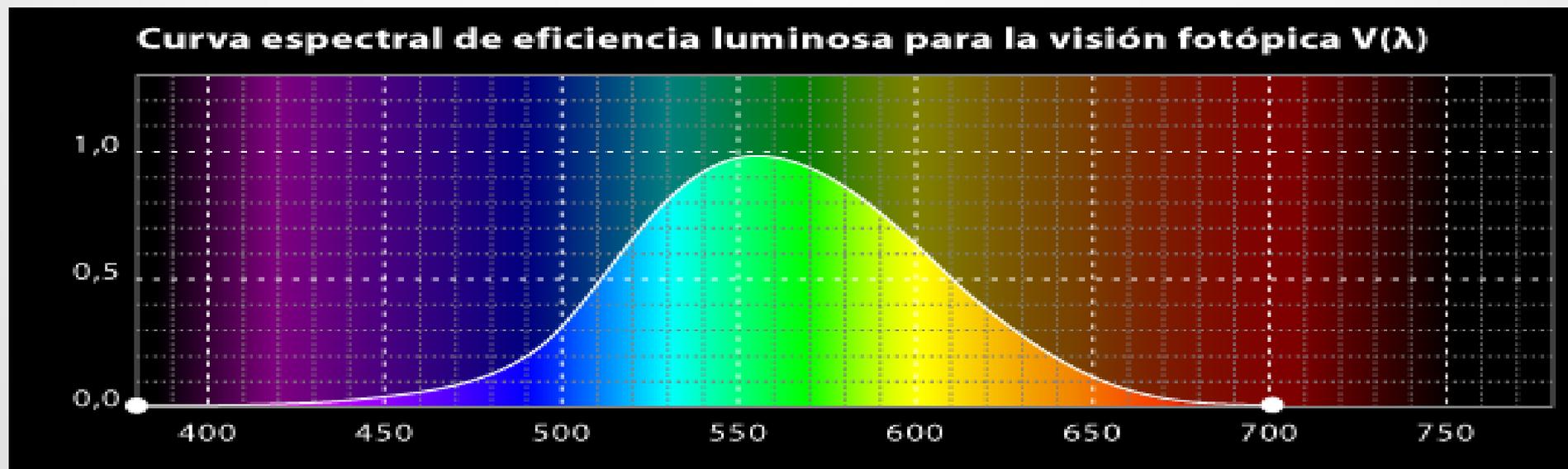
Curva de sensibilidad del ojo (II)

- De esta manera es posible identificar cuanta más o menos potencia se debe utilizar para obtener la misma sensación de brillo.
- Hace casi unos 100 años este experimento fue realizado con un gran número de personas.



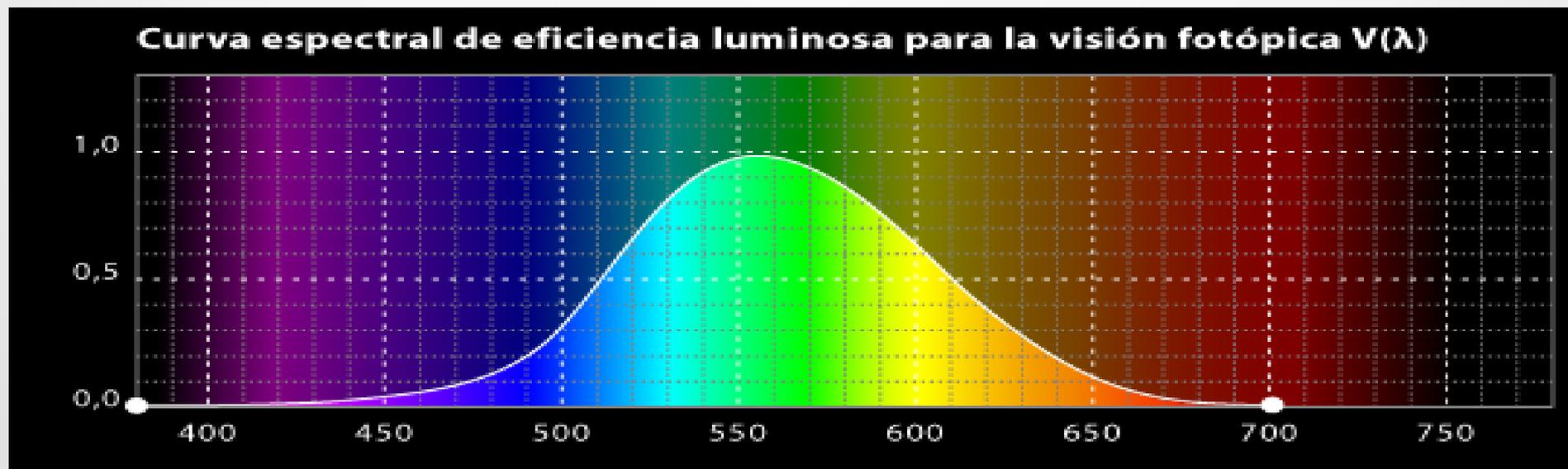
Curva de sensibilidad del ojo (IV)

- Como resultado se obtuvo la curva para la visión fotópica.
- En resumen, esta curva nos dice cuanta sensibilidad a un color respecto a otro tenemos las personas.



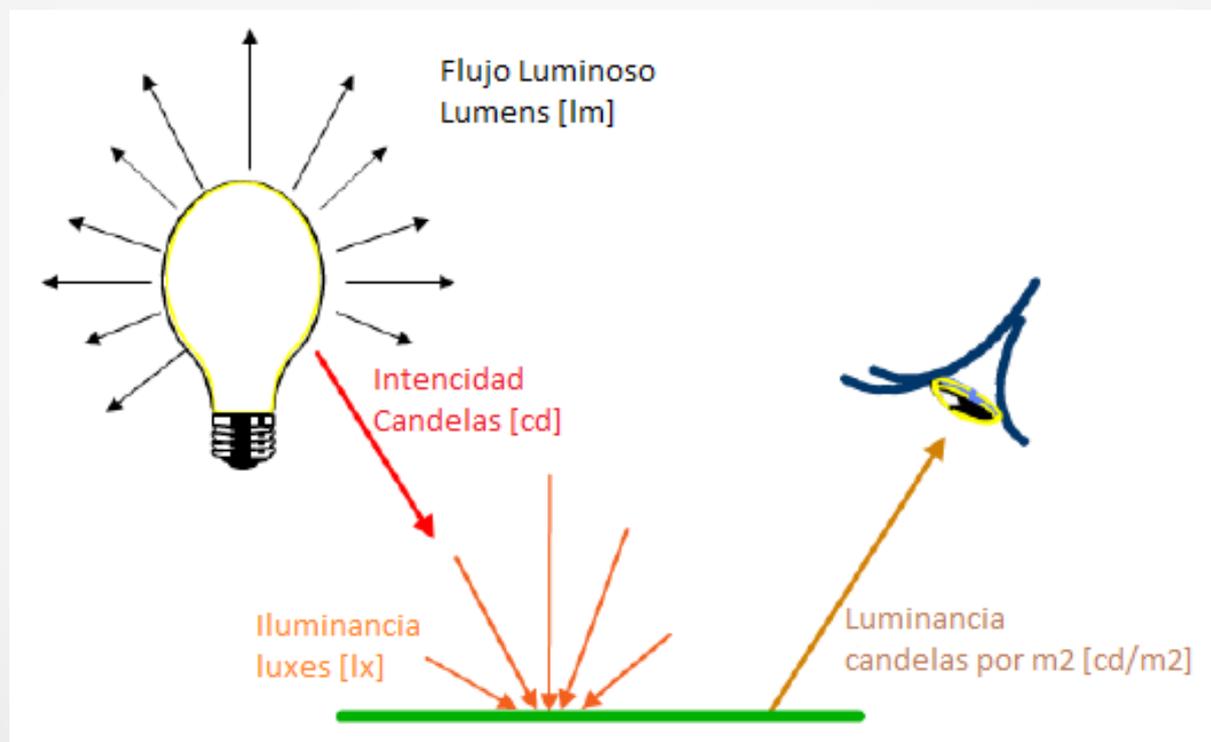
Curva de sensibilidad del ojo (V)

- Por ej: Ahora sabemos que una luz de 1 W verde de 555nm, la vemos brillar igual que una luz de 2W amarilla de 610nm.
- De esta manera tenemos una forma convertir de sensación de brillo a Potencia en Watts.

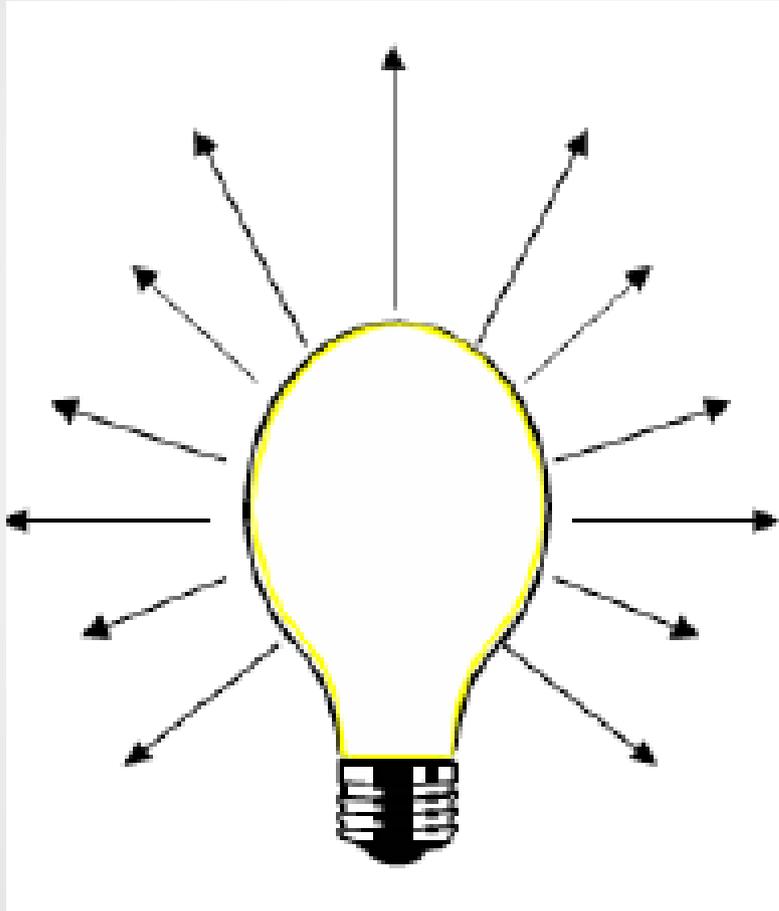


Magnitudes fotométricas

- La fotometría mide la radiación en función de la respuesta visual humana.



Flujo luminoso ϕ [lm] (l)

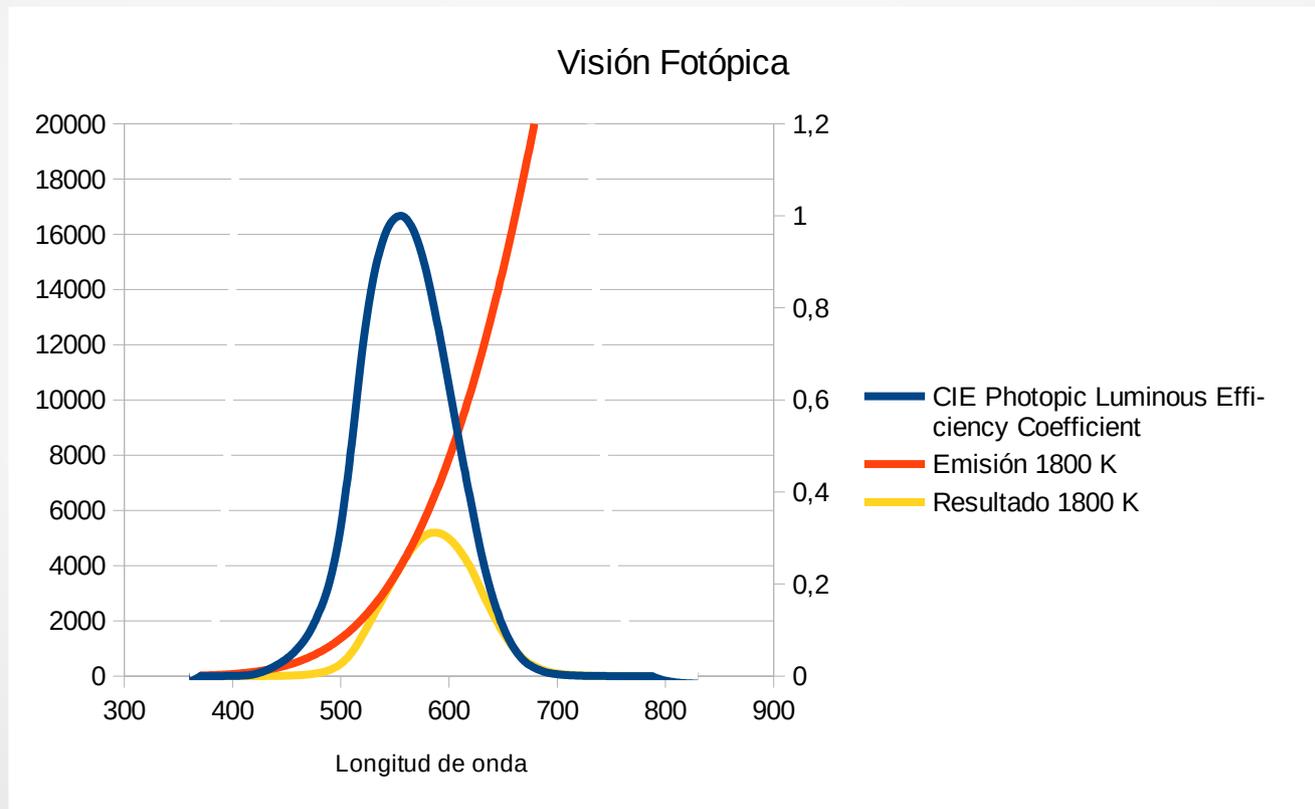


- Es la **CANTIDAD** de radiación emitida cada segundo.
- De la radiación generada por la fuente, se pondera cada color según la curva del ojo.

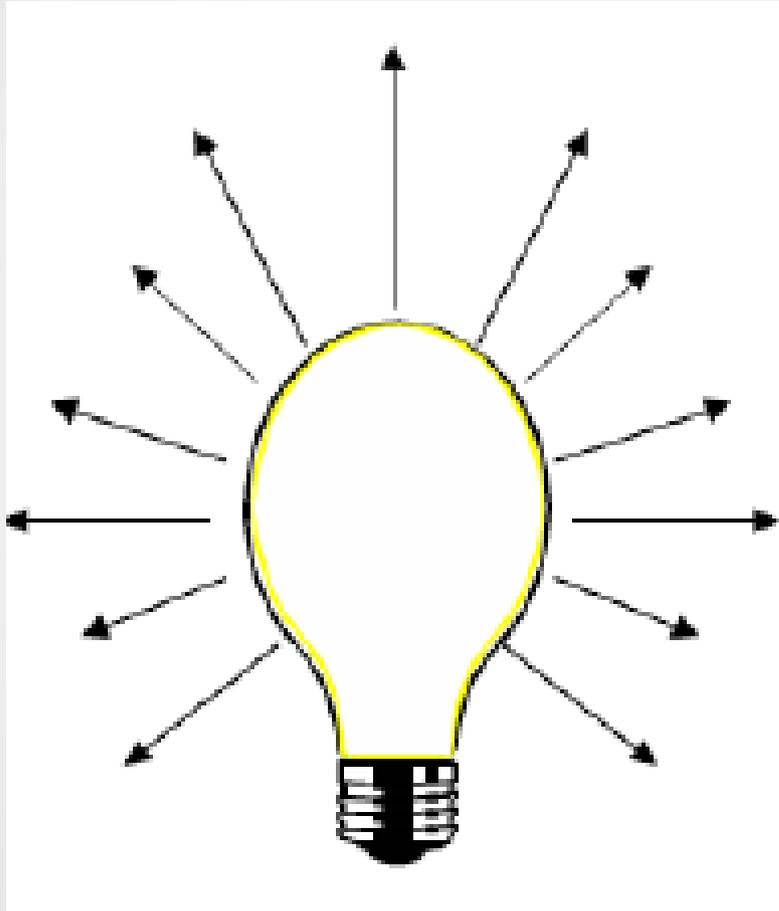


Flujo luminoso ϕ [lm] (II)

- Ejemplo de una emisión de lámpara incandescente



Flujo luminoso ϕ [lm] (III)

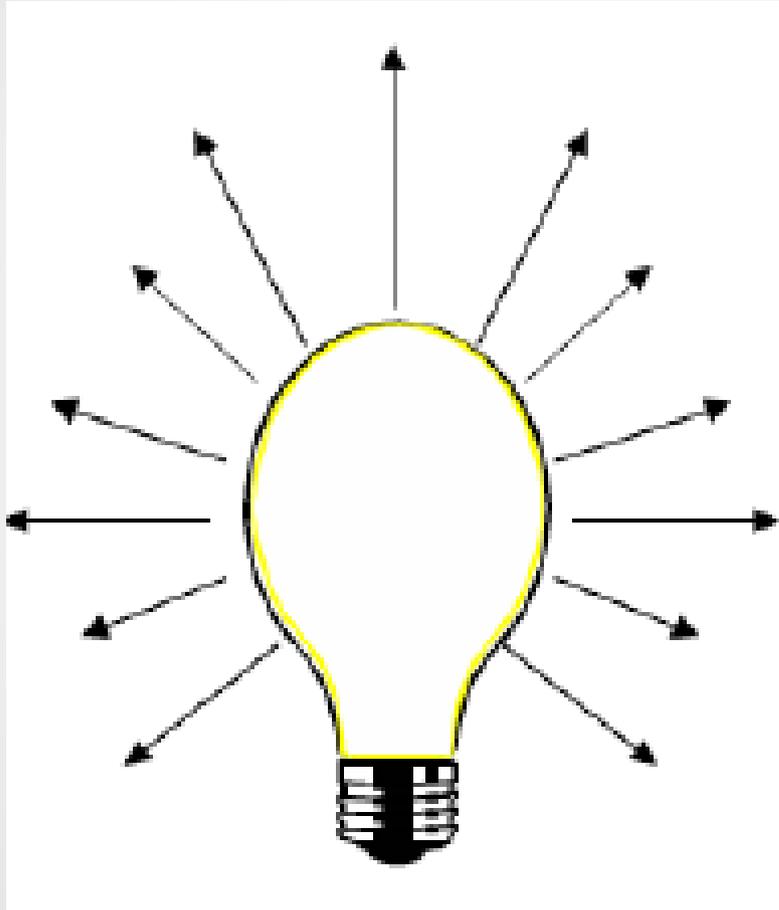


Actualmente y desde 1979 el S.I. define:

“Un Lumen (lm) es el flujo luminoso de una radiación monocromática caracterizada por una frecuencia de 540×10^{12} Hz y un flujo radiante de $(1/683)$ W”



Flujo luminoso ϕ [lm] (IV)

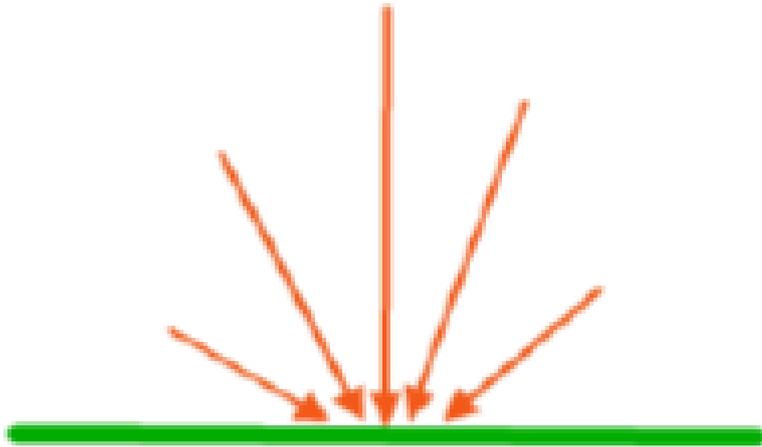


- ¿Qué significa esto?
- Que a partir de un color particular(verde de 555nm) es posible transformar de flujo en potencia.
- Luego gracias a la curva del ojo, es posible realizar esto para cada color visible.
- Incluso para la suma de colores como el blanco.



Iluminancia E [lux] (I)

- ¿Esto es suficiente?
- Supongamos estamos leyendo la sección deportiva el día que Uruguay gana la final.

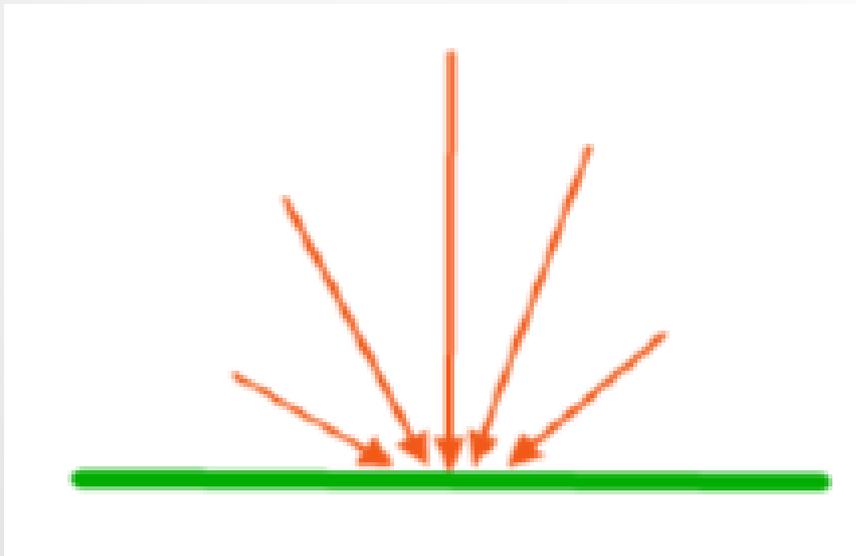


- Para poder ver el diario nos importa cuanto de ese flujo efectivamente nos llega a la página que queremos leer.
- En breves palabras, queremos saber cuanto flujo incide por m^2 .
- La iluminancia es independiente de la superficie. En otras palabras, el valor no depende de si leemos el diario o una revista.



Iluminancia E [lux] (II)

- A la iluminancia, también se la llama densidad de flujo.
- La unidad es el **lux**
- 1 lx es equivalente a un flujo de 1 lm por m²
- Generalmente, la iluminancia se calcula respecto a un plano de interés: la calzada, un escritorio o una pared.
- Este plano no necesariamente tiene que existir.
- Por ej: se puede calcular para una altura de 85 cm para un aula sin que hayan bancos.



Iluminancia E [lux] (III)

- Es análogo a un tiro libre en fútbol, no nos importa cuantas pelotas se lancen, sino cuantas van dentro del arco.



Intensidad luminosa I [cd] (I)



- ¿Cuántos aciertos tendrá el tirador?
- Continuando con la idea del tiro libre, es normal que cuanto más lejos este el arco, menos se acierte.
- ¿Podemos prever cuanto acertará?
- ¿Cuántos aciertos tendrá el tirador?



Intensidad luminosa I [cd] (II)



- Supongamos que sabemos que el tirador patea siempre con referencia el golero.
- Que la mitad de los disparos, se dirigen del golero 5 grados a la izquierda o a la derecha
- Podríamos saber hasta que distancia del arco ese jugador pone la mitad de las pelotas en el arco.



Intensidad luminosa I [cd] (III)



- Más aún, nos podría interesar saber que cantidad de pelotas es capaz de colocar exactamente al ángulo.
- Sabiendo el patrón de disparo en esta dirección con un margen muy pequeño podríamos estimarlo, para cualquier posición de remate.



Intensidad luminosa I [cd] (IV)



- ¿Y la luz?
- En cuanto a la luz también nos interesa saber por ej: Cuanto flujo luminoso (pelotas) se dirigirán a la calzada (ángulo) desde cualquier posición este ubicada la luminaria (lugar de la falta).
- Conociendo el flujo vamos a poder estimar si la iluminancia es suficiente (si fue gol o no).



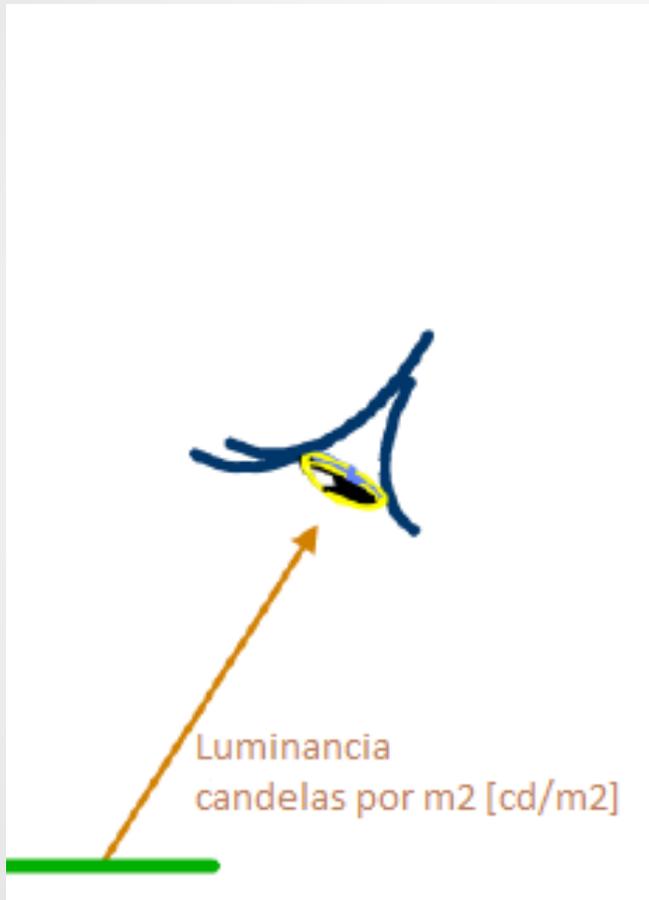
Intensidad luminosa I [cd] (IV)



- Análogamente, el flujo o si la pelota entro en el arco, dependen de la distancia.
- Pero, la intensidad al igual que la precisión del jugador, no dependen de la distancia.



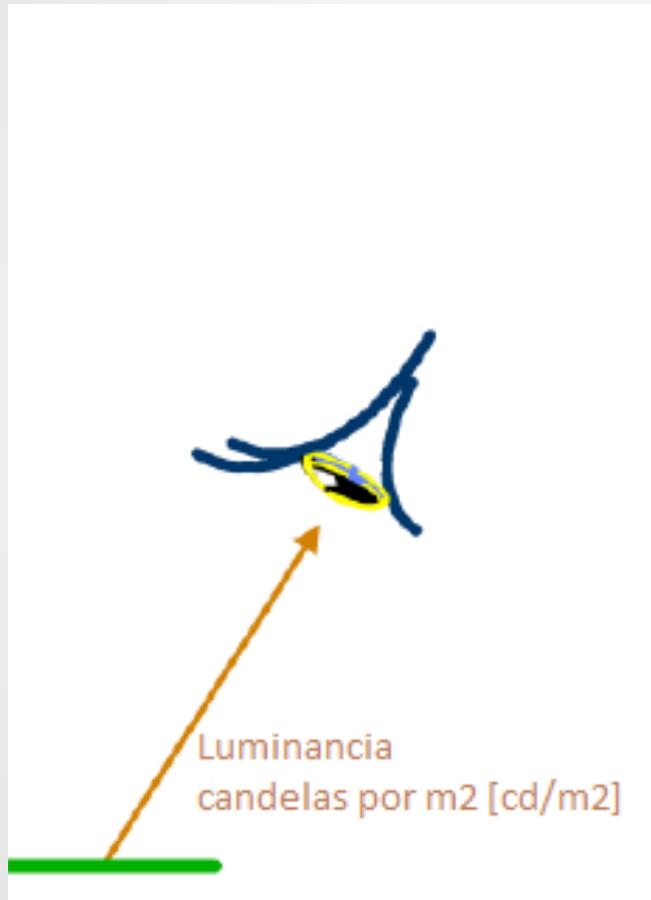
Luminancia L [cd/m²] (I)



- No entraremos en profundidad en esta magnitud.
- Es la magnitud asociada al brillo.
- De esta depende principalmente el deslumbramiento.
- Depende principalmente de la superficie de la fuente de luz, cuanto más grande menos brillante o menos incandila.
- Esta superficie puede ser emisora como un LED o solo reflejar como el asfalto.



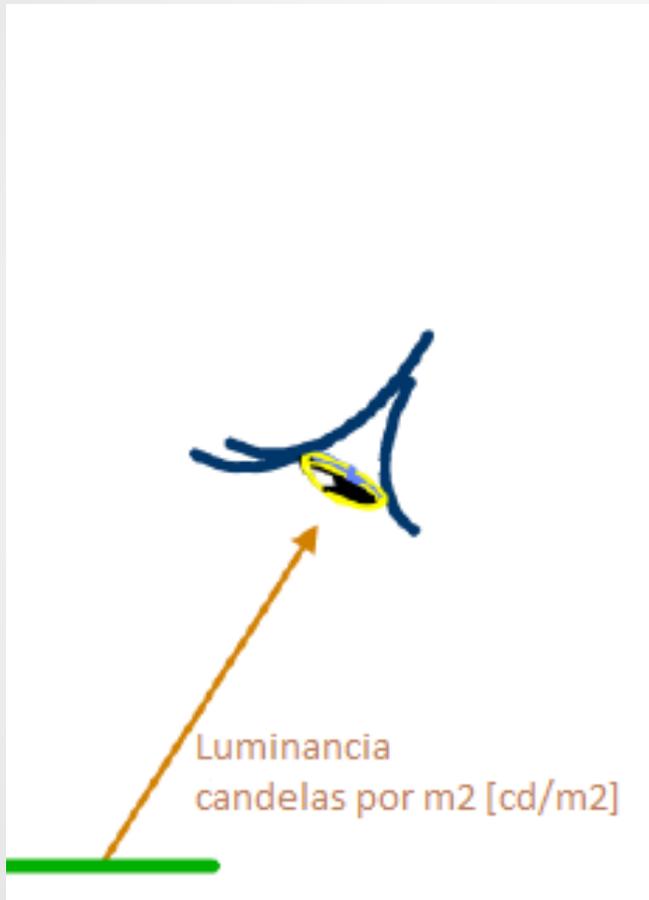
Luminancia L [cd/m²] (II)



- Esta es la primer magnitud en la que entra en juego el ojo humano.
- Debido a esto su complejidad.
- Además, depende de la posición del observador, del ojo al que hablamos.
- Intenta representar la sensación de brillo
- Pero como aclarado antes, las sensaciones no se pueden medir.



Luminancia L [cd/m²] (III)



- Si pensamos en la luz que resulta del reflejo en el pavimento, brillo observado depende por ejemplo de si el pavimento está mojado o no.
- Ej: en un mismo automóvil, dos personas en un atardecer con sol de frente pueden experimentar sensaciones diferentes.



Pausa



El principio del salvavidas (I)



- Imaginemos la situación en la que una persona en el agua está pidiendo ayuda y es vista por un salvavidas.
- Este además corre más rápido de lo que nada.
- ¿Qué camino haría el experto salvavidas para socorrer más rápido a la víctima?



El principio del salvavidas (II)



- Como el salvavidas nada más lento de lo que corre, intentara nadar menos.
- En el caso extremo podría nadar en ángulo recto respecto a la costa.
- Dependiendo de que tanto más lento nade, elegirá entre un nadar en un ángulo recto desde la costa y en línea recta hacia la víctima.



La luz inteligente...



- La luz, como si fuera inteligente también busca tomar los caminos más rápidos para llegar a su destino. (Ppio de Huygens)
- Si observamos un lápiz con parte inmersa en agua, veremos como el lápiz parece quebrarse
- Lo que en realidad cambió de dirección fue la luz.

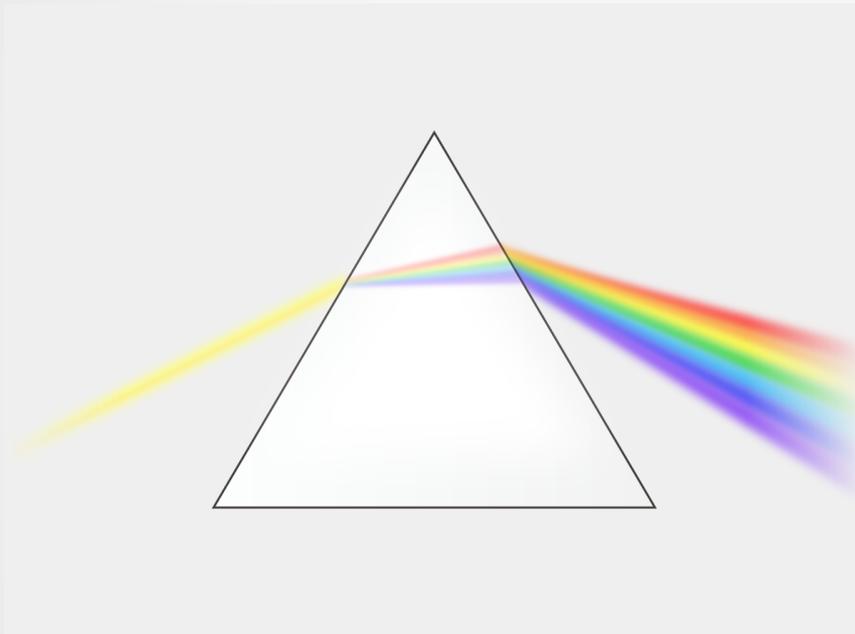
Refracción



- A este fenómeno se le llama refracción.
- Cuando la luz cambia de un medio transparente a otro medio transparente con diferente densidad, esta cambia su dirección.



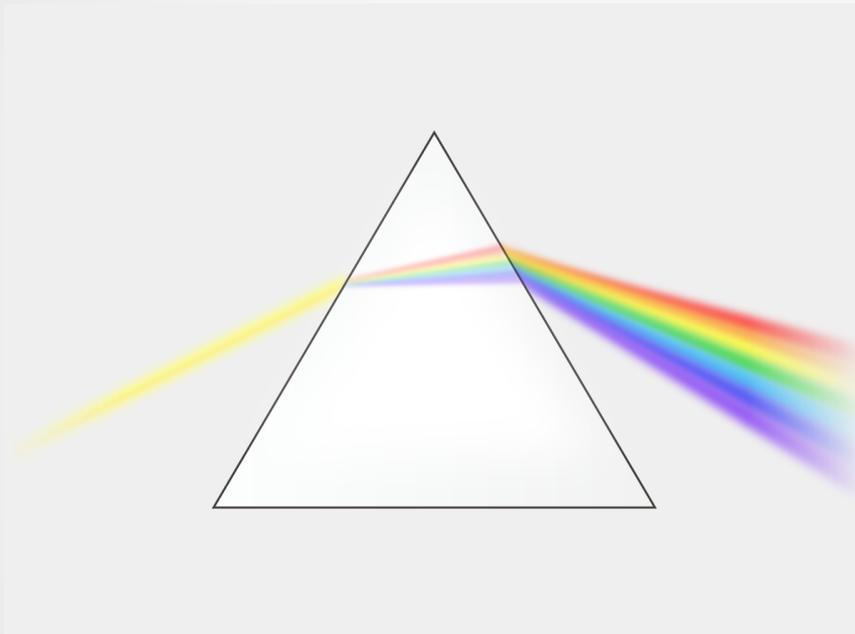
El arcoiris. (I)



- No todos los colores tienen la misma velocidad en el agua o el vidrio.
- Es como si de la cabina corrieran 2 salvavidas que nadan diferente.
- El camino más rápido sería diferente para los 2.
- De esta manera, parten juntos y se separan en el camino.



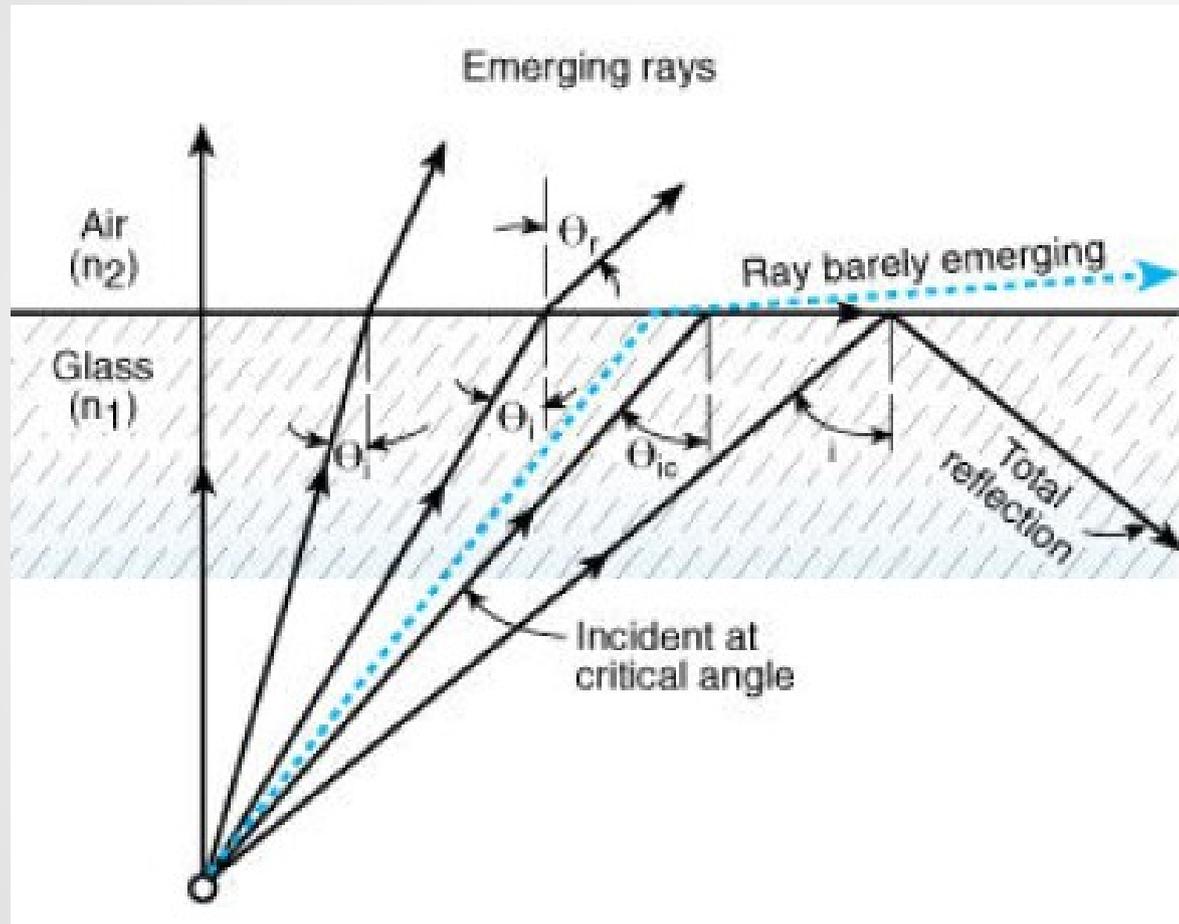
El arcoiris. (II)



- Lo mismo sucede con la luz, la luz blanca es la suma de muchos colores.
- Cada uno más rápido “mejor nadador” que el anterior.
- Por esto, los haces de colores parten juntos y al cambiar de superficie se separan.



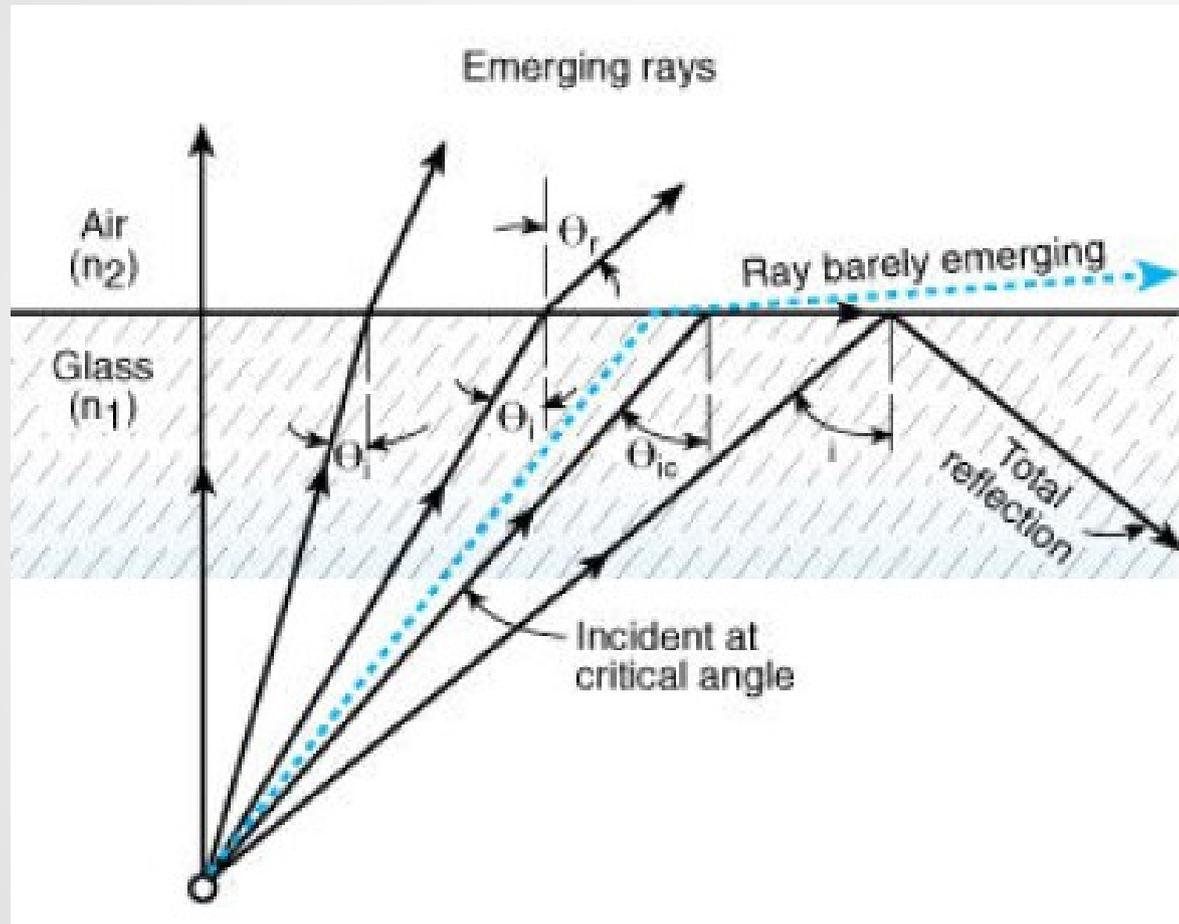
Reflexión Total – TIR (I)



- La reflexión de la luz sigue la ecuación de Snell.
- $n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$
- Al pasar de un medio más denso a uno más ligero como del vidrio al aire, el rayo de luz se “acuesta”.



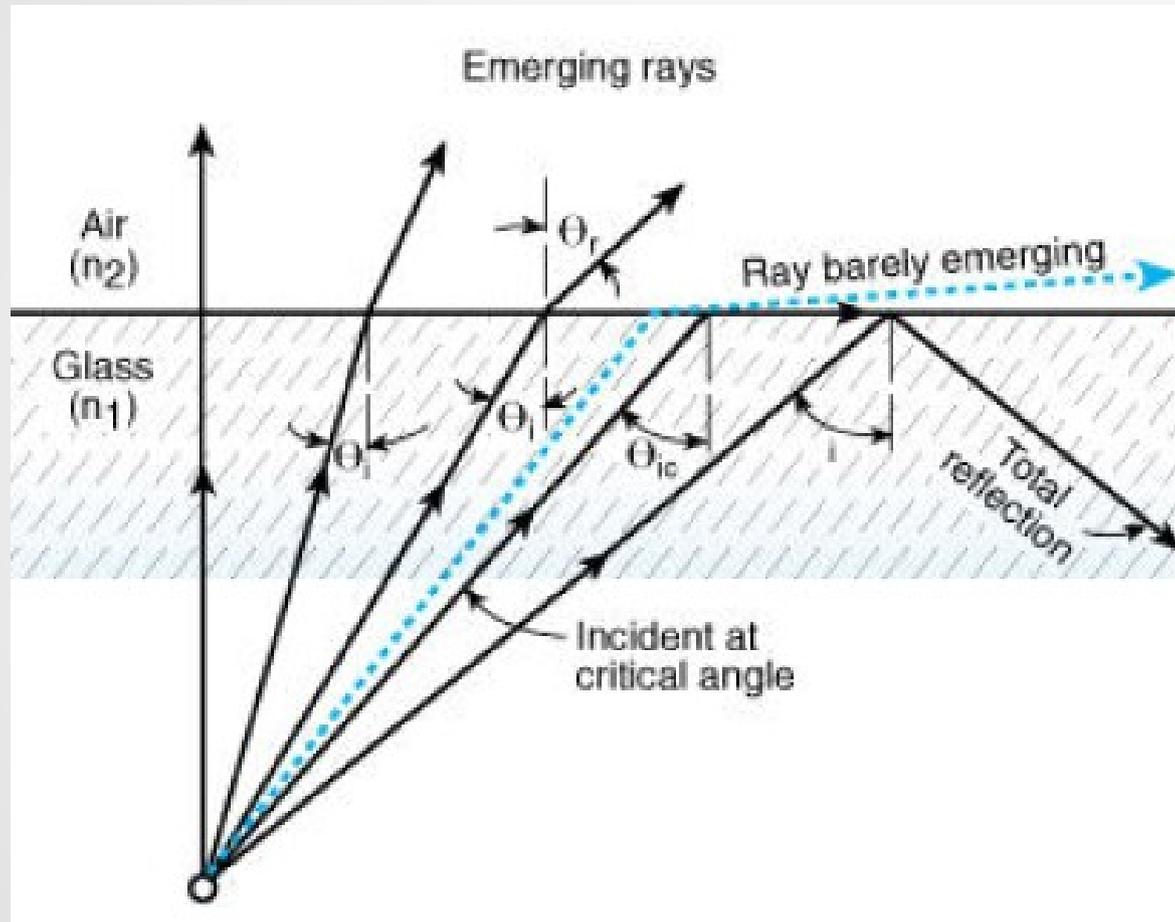
Reflexión Total – TIR (II)



- Existe por lo tanto un ángulo, donde el rayo al intentar escapar, se mantiene paralelo a superficie de los materiales.
- Es como si alguien dentro del agua saliera y caminara por la orilla.



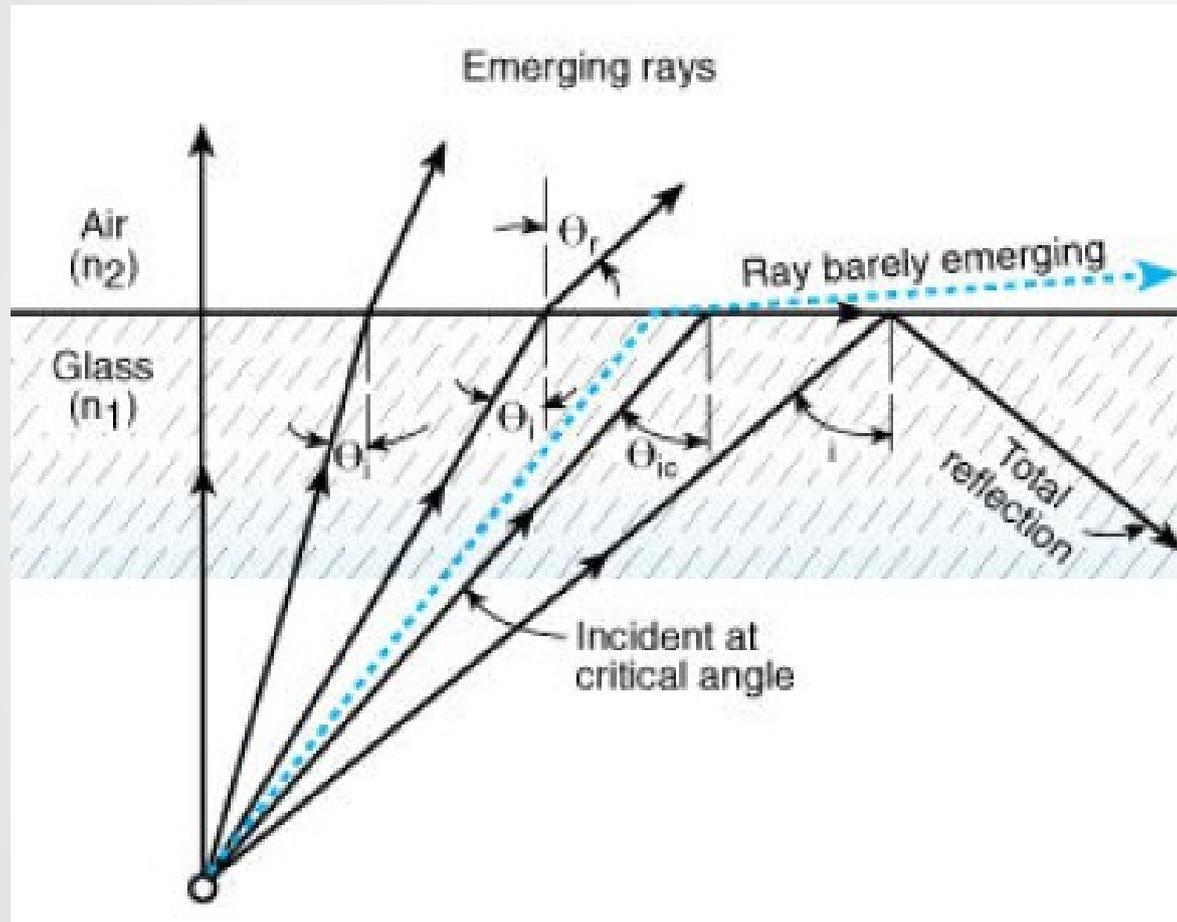
Reflexión Total – TIR (III)



- Ángulo Crítico
- A este angulo con el cual la luz incide y al cambiar de medio se mantiene por la superficie, se le llama ángulo crítico.



Reflexión Total – TIR (IV)

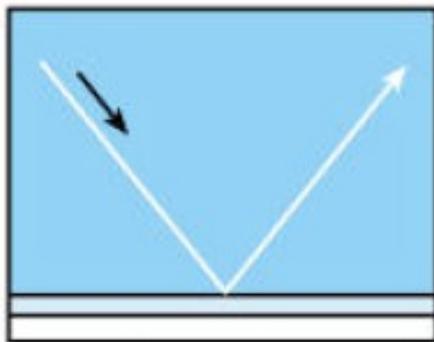


- ¿Qué pasa si el ángulo es mayor?
- La luz no puede pasar al otro medio.
- La luz es reflejada nuevamente al interior del material.
- A esta reflexión se le llama:
- **REFLEXIÓN TOTAL**

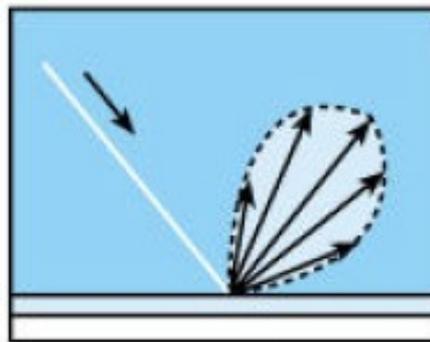


Reflexión (I)

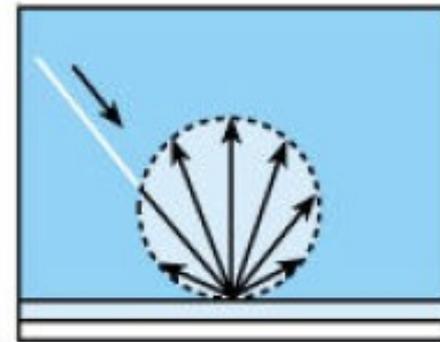
- La reflexión se produce cuando parte de la luz que incide en un medio, retorna por el lado de incidencia.
- Estas pueden ser:



a Polished surface, specular



b Rough surface, spread

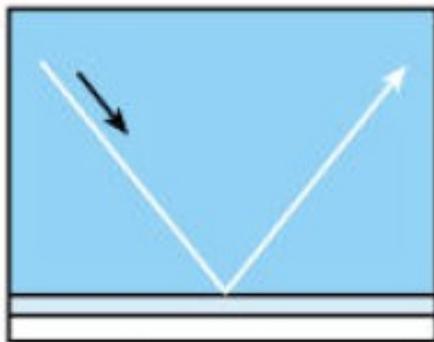


c Matte surface, diffuse

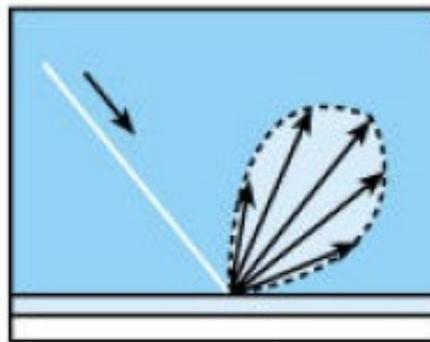


Reflexión (II) - Especular

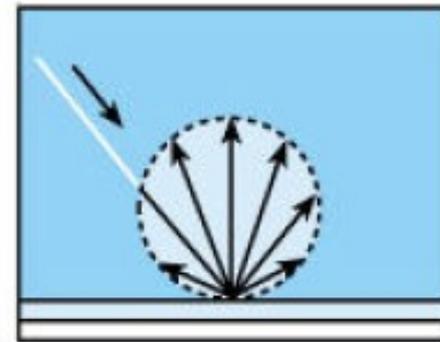
- Se da por ejemplo en los espejos de vidrio y metal o en los metales pulidos.
- Se caracteriza por tener los ángulos entre el rayo incidente y la normal igual al ángulo del rayo reflejado a la normal.
- Si dos o más rayos paralelos son reflejados, producen una imagen virtual



a Polished surface, specular



b Rough surface, spread

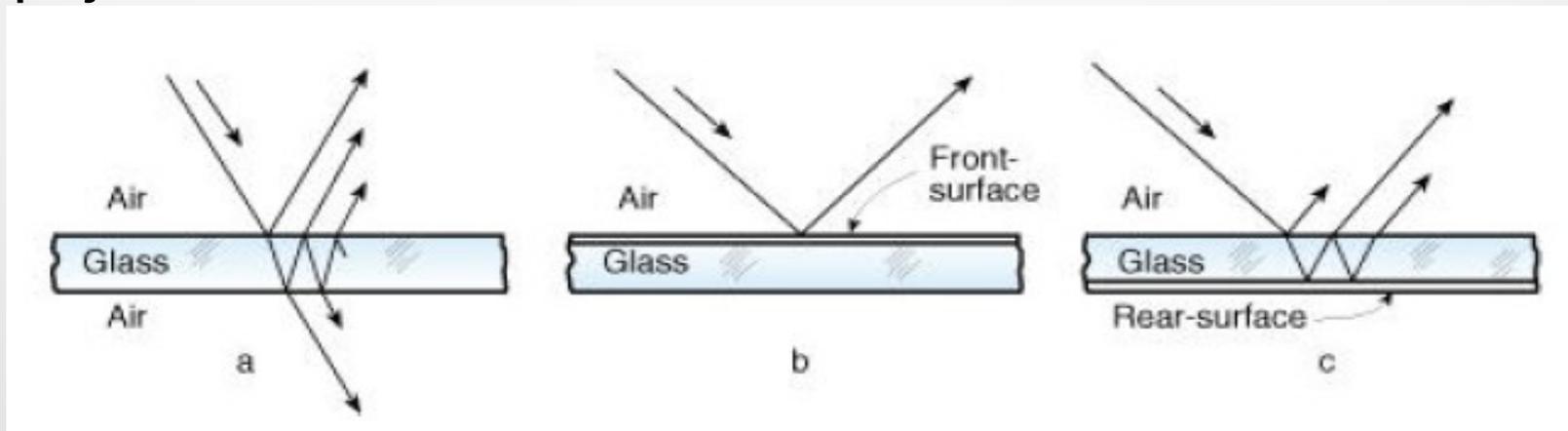


c Matte surface, diffuse

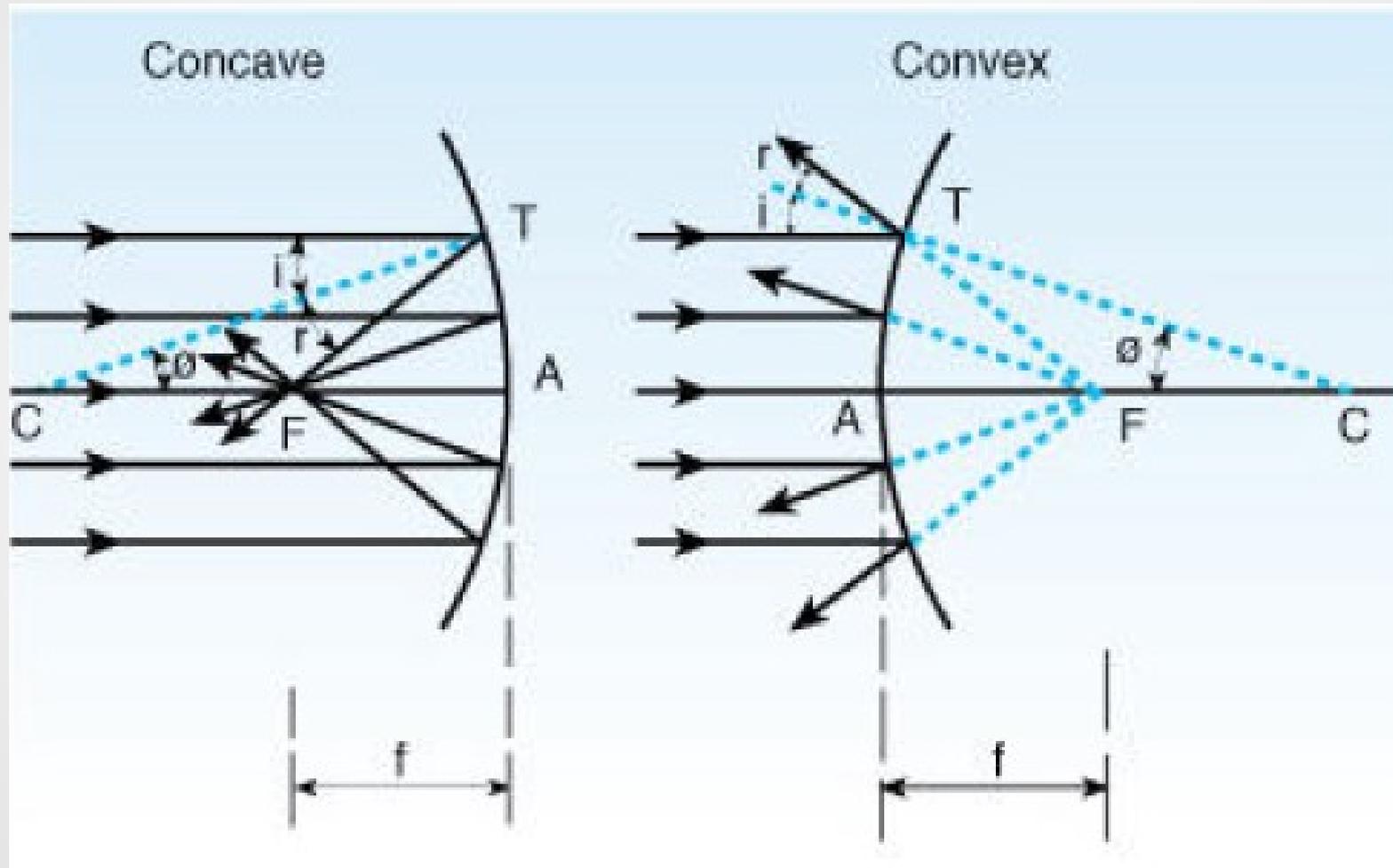


Reflexión (III) - Especular

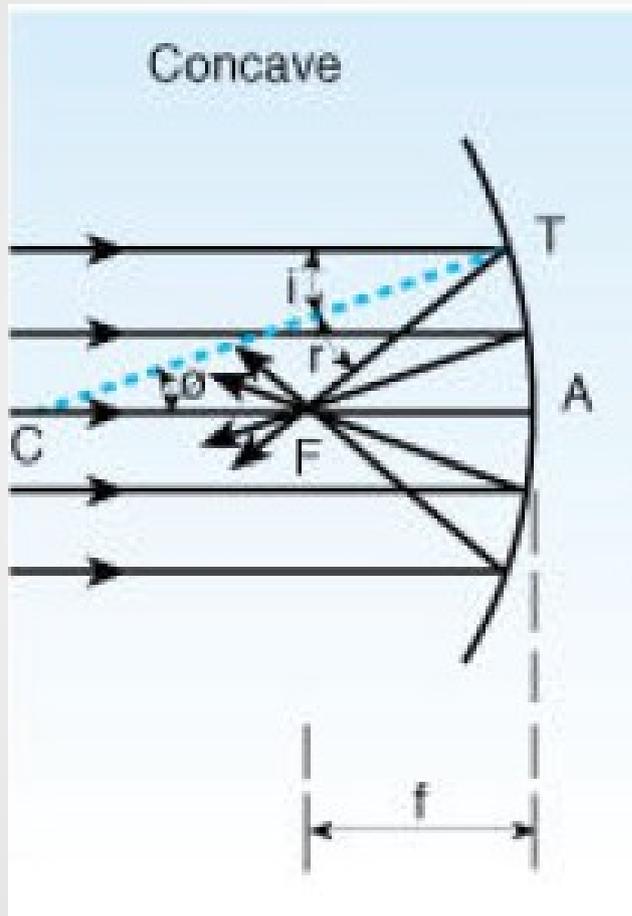
- Ej. de reflexión especular se puede a su vez ver 3 casos:
- Reflexión en medios transparentes como vidrio.
- Reflexión en la superficie frontal, como se producen en la gran mayoría de las luminarias.
- Reflexión en la superficie trasera como en la mayoría de los espejos de baño.



Reflexión (IV) - Especular



Reflexión (V) - Especular



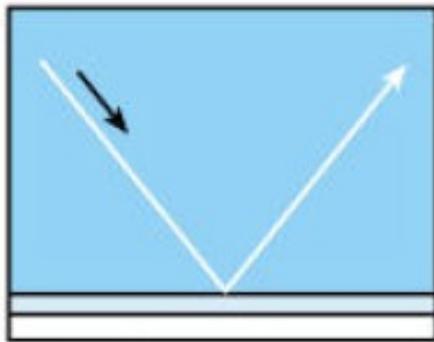
SUPERFICIE CÓNCAVAS

- Cuando rayos paralelos son reflejados desde una superficie cóncava, todos los rayos pueden dirigirse a un punto común.
- Este punto común **F** se llama punto focal.
- También se define **f** la distancia focal como en la imagen.

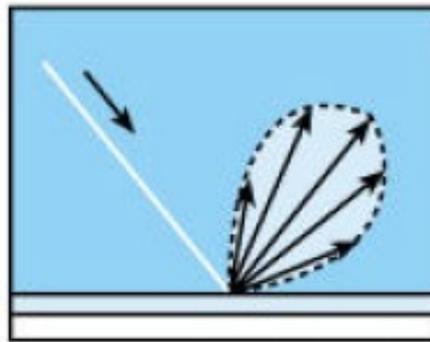


Reflexión (VI) - Dispersa

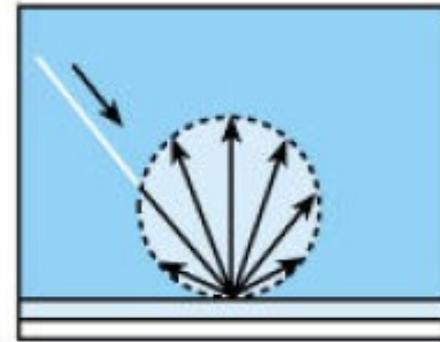
- Si la superficie no es completamente lisa, los rayos se dispersan dentro de un cono.
- Comportándose como en la imagen central.



a Polished surface, specular



b Rough surface, spread

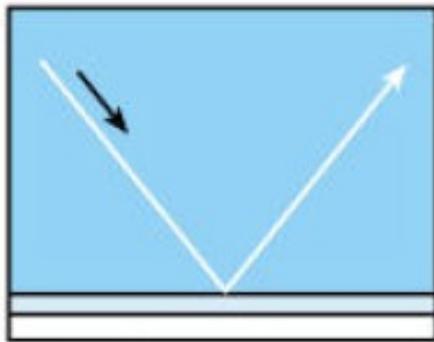


c Matte surface, diffuse

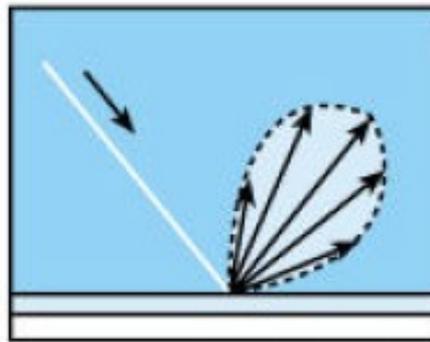


Reflexión (VII) - Difusa

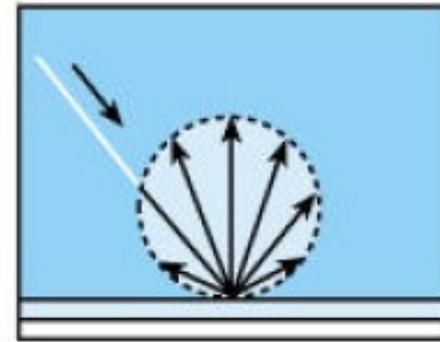
- La gran mayoría de los materiales reflejan la luz de forma difusa.
- Esto es, que la intensidad en cualquier ángulo, es igual al valor de la intensidad normal por coseno del ángulo.
- Esto implica que la superficie se vea igual de iluminada desde cualquier dirección.



a Polished surface, specular



b Rough surface, spread



c Matte surface, diffuse



Recubrimiento Dicroico (I)



- Dicroico significa dos o más colores.
- Se utiliza para nombrar cualquier material capaz de dividir un haz de luz en dos o más haces de diferentes colores.



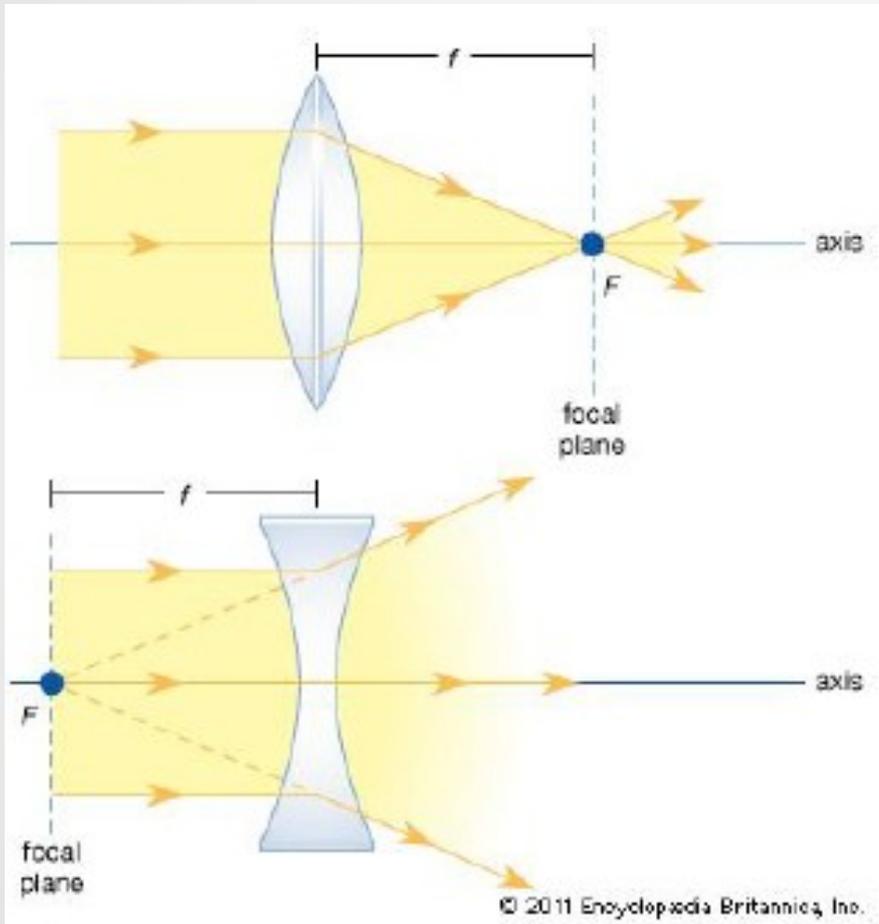
Recubrimiento Dicroico (II)



- Por ej: en las lámparas dicroicas los rayos infrarrojos atraviesan el recubrimiento.
- Los rayos de luz visible son reflejados.
- De esta manera el calor escapa y solo la luz visible es enviada hacia el objetivo.



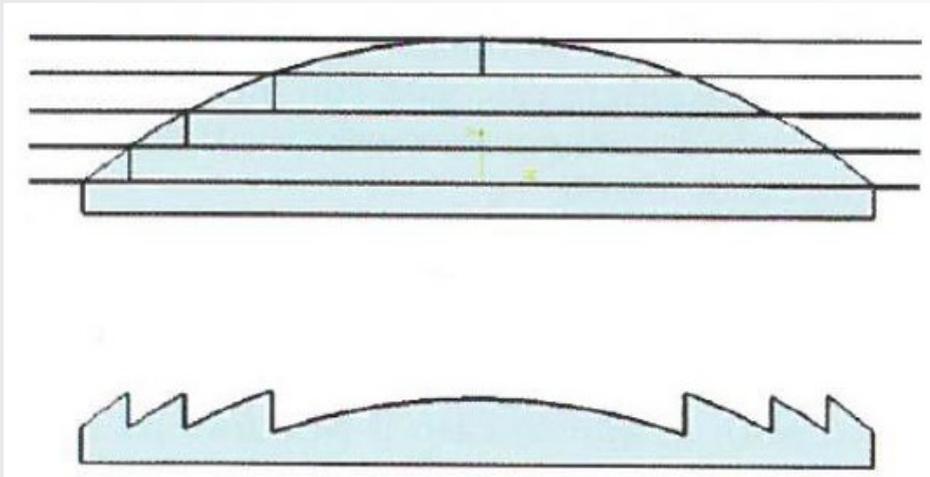
Lentes (I)



- Los lentes modifican los rayos de luz mediante refracción.
- Positivos
- Son los que a partir de rayos paralelos, convergen todos los rayos en un punto.
- Negativos
- Son los que hacen divergir los rayos de luz.



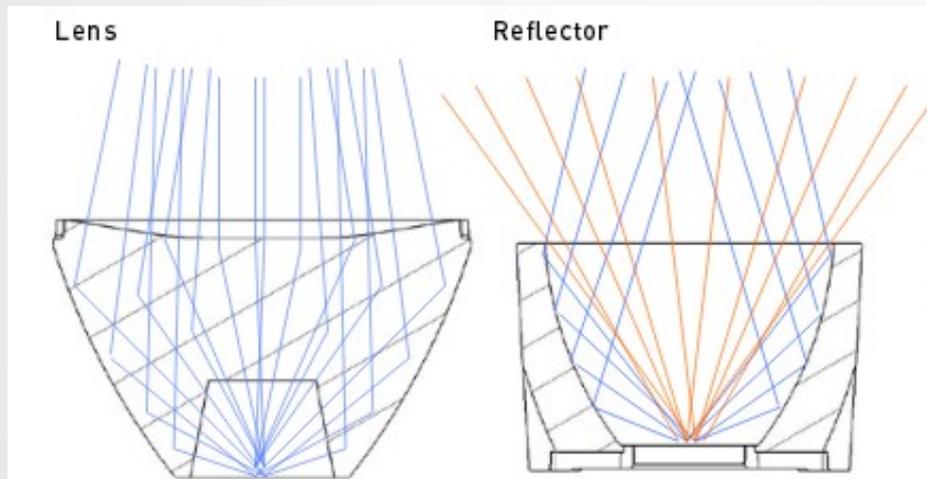
Lentes - Fresnell (II)



- Los lentes fresnell son una forma de construir lentes
- Con resultados similares y costos menores
- La idea es dividir el lente en capas y usar solo las capas activas del lente.
- Quitar todo el material que no realiza control sobre la luz.
- Ejemplo de uso de estos lentes se da en los faros, donde se ahorra grandes cantidades de material, empeorando los efectos de borde no deseados.



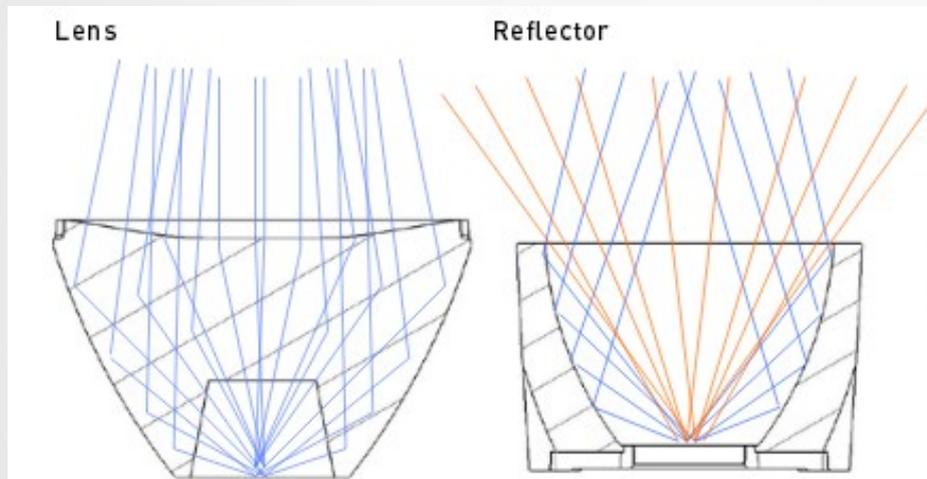
Lentes - TIR (I)



- Los lentes TIR se basan en el fenómeno de la reflexión total.
- Para los rayos que se dirigen hacia el objetivo los controla con un lente positivo clásico
- Para los rayos abiertos, los hace reflejar con TIR, hasta que se dirigen al objetivo.



Lentes - TIR (II)



- Estos lentes presentan altos valores de eficiencia.
- Son posibles de utilizar con pequeñas fuentes de luz.
- Por lo cual no son apropiados para usar con LED COB o fuentes antiguas de iluminación.



Lentes – Free Form (I)



- Estos lentes han sido desarrollado recientemente con la incorporación del LED al mercado.
- Permiten controlar la luz casi como el usuario lo desee.
- Ha permitido obtener nuevas fotometrías.



Lentes – Free Form (II)



- Algunos son construidos en material plástico
- Por esto se debe prestar atención a su uso a temperaturas muy elevadas

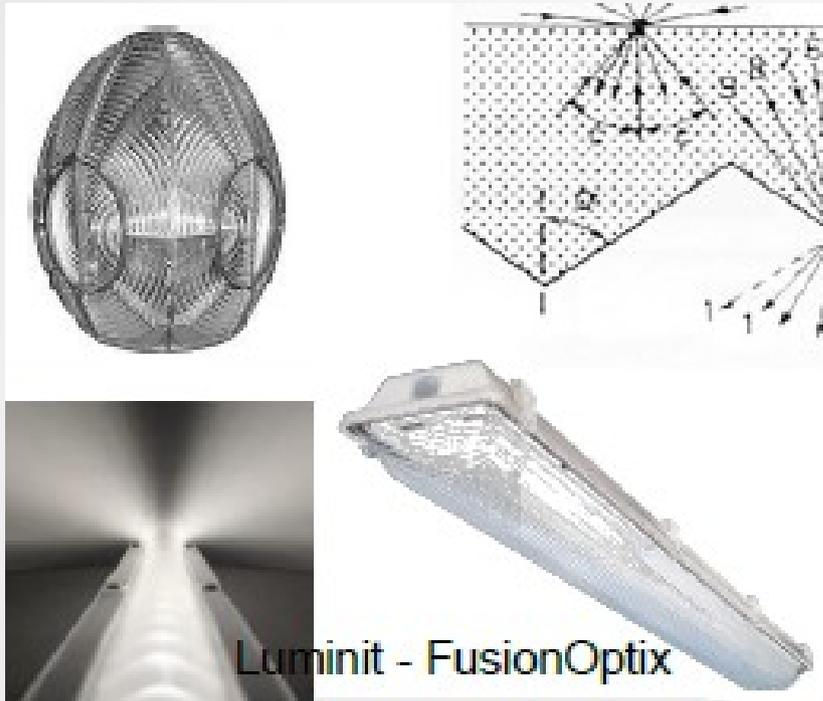
Difusores



- Transforman los rayos de luz en luz difusa.
- Evitan el deslumbramiento.
- Barisol.
- Cocoon by Heisenkeil.
- In-Ei Issey Miyake.



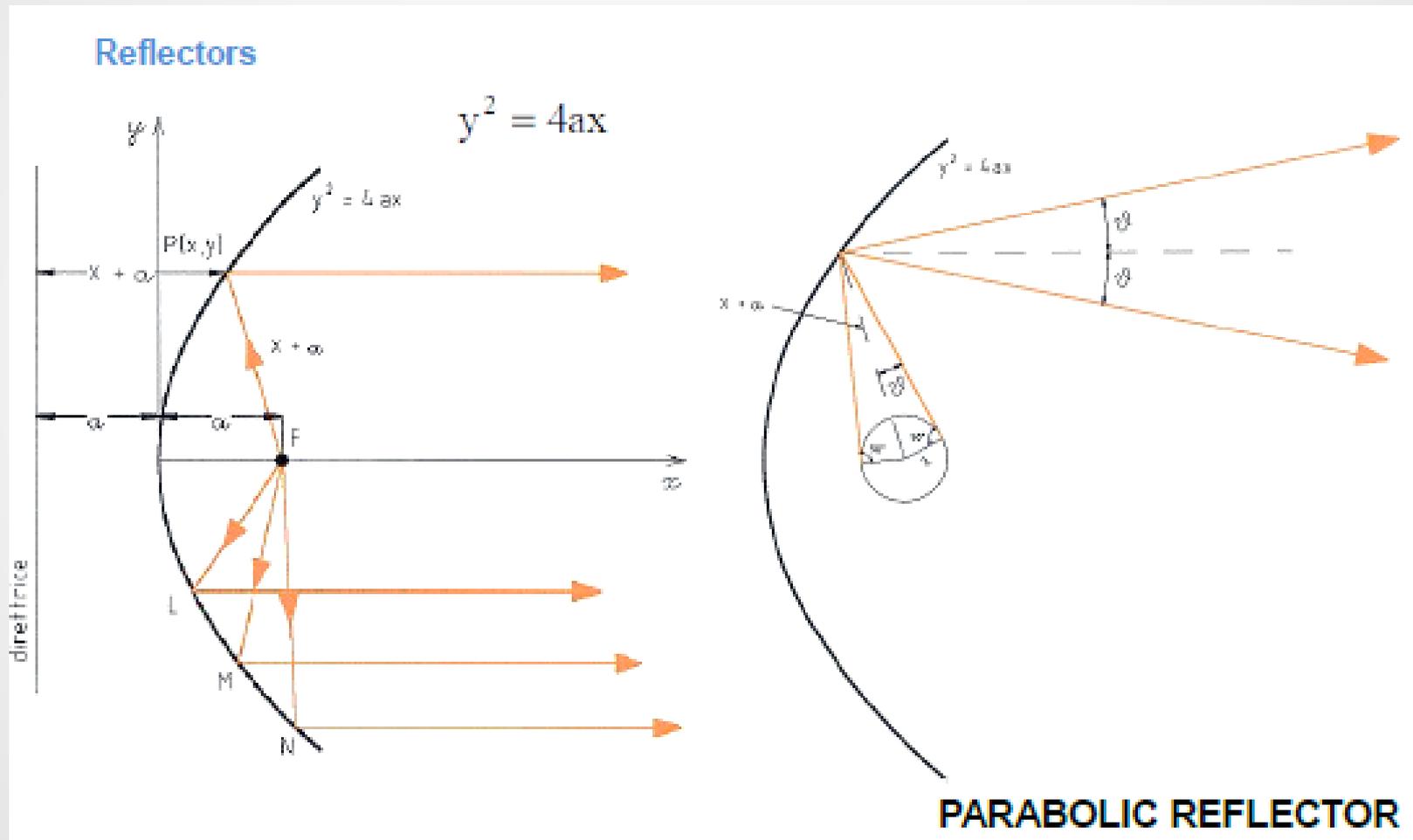
Refractores



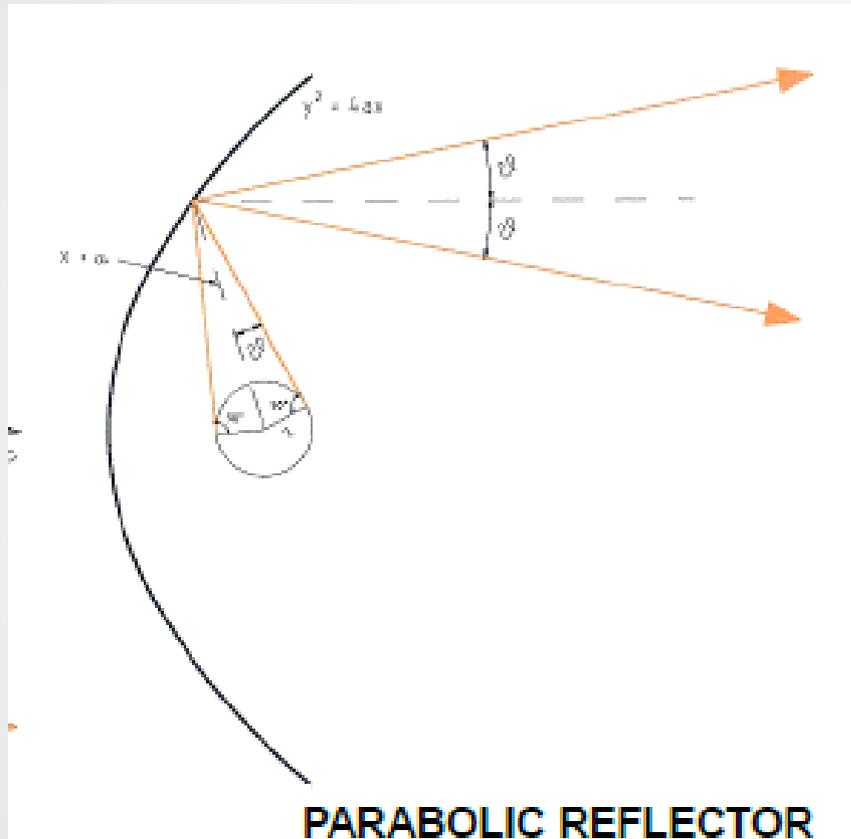
- Son controladores prismáticos de la luz.
- Usados para dar control direccional a la luz.
- Comúnmente utilizados en iluminación de oficinas.
- También en balizas viales e iluminación de automóviles



Reflectores (I)



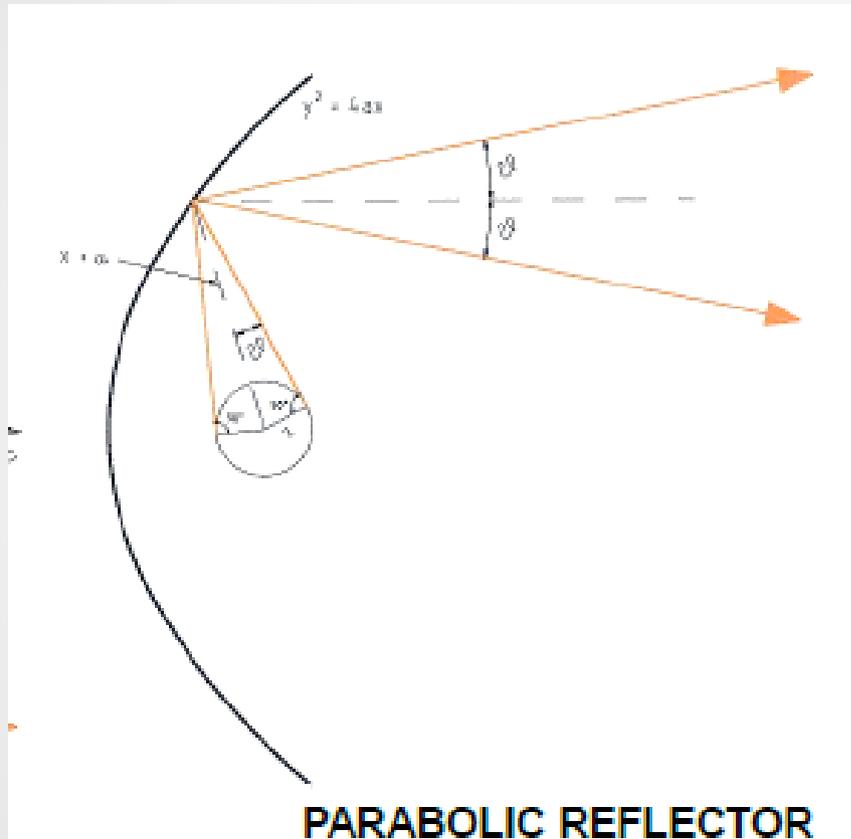
Reflectores (II)



- La mayoría de las luminarias convencionales están provistas con un reflector.
- El flujo total de luz hacia el objetivo resulta:
- El flujo de la lampara en esa dirección
- Más el flujo reflejado.



Reflectores (III)

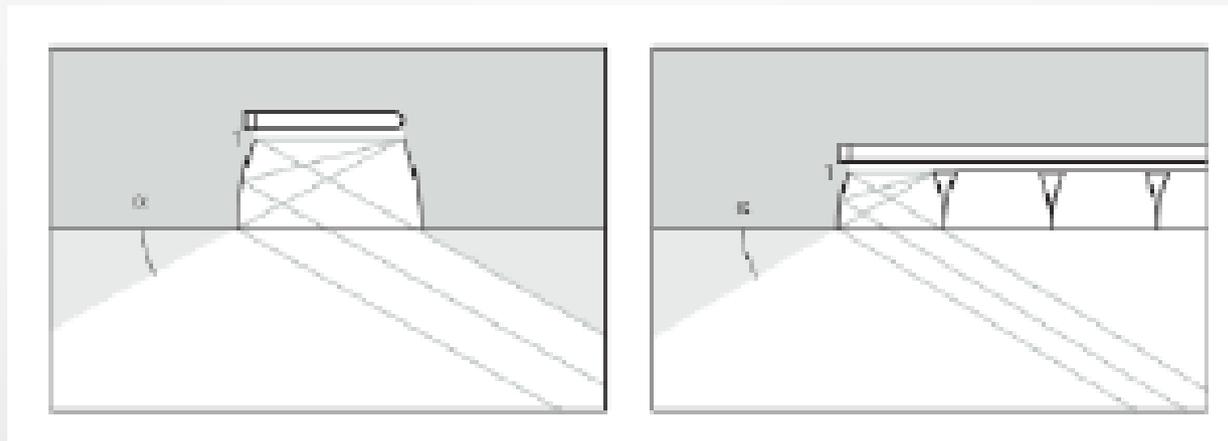


- Lo ideal sería tener el doble de intensidad en el objetivo, comparado con la lámpara desnuda.
- En la realidad, la fuente no es un punto.
- Por esto el flujo nunca puede ser paralelo.
- Además al reflejar se presentan diferentes pérdidas.

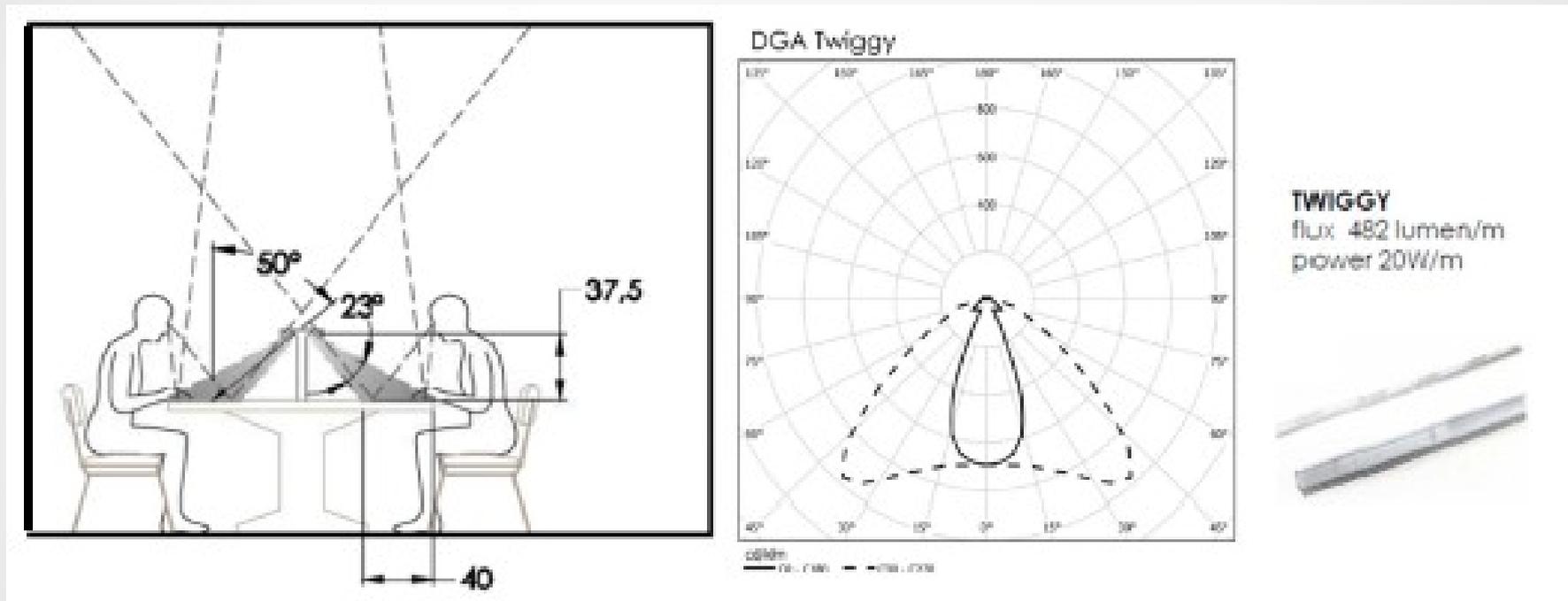


Reflector Anti Deslumbramiento (IV)

- En las luminarias de oficina y vial es muy utilizado.
- Evita emitir luz en ángulos cercanos al horizontal que deslumbren al usuario.
- Actúan como el parasol de los autos.



Ejemplo de anti deslumbramiento



Ejercicio

- Un reflector es:
 - a) un tipo de luminaria
 - b) componente añadido a la luminaria
 - c) un espejo
- En la reflexión:
 - a) el rayo incide sobre la superficie; una parte la atraviesa y otra parte es reflejada
 - b) el rayo atraviesa la superficie
 - c) el rayo incidente es reflejado completamente por la superficie



Ejercicio

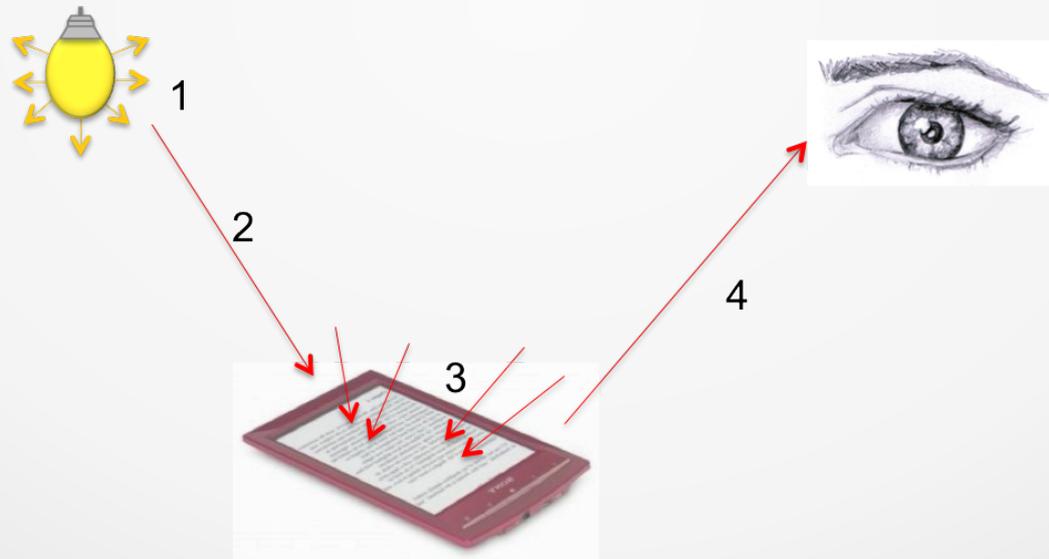
- En un rayo de luz reflejado en un espejo. ¿qué ángulo es mayor, el de incidencia o el de reflexión?
 - a) el de reflexión
 - b) son iguales
 - c) el de incidencia
- El flujo luminoso:
 - a) es la cantidad de luz radiada en todas direcciones
 - b) es la cantidad de luz emitida por unidad de tiempo
 - c) es la cantidad de luz que recibe el ojo humano
 - ¿En que unidad se mide?



Ejercicio

- Identificar las magnitudes fundamentales que corresponden a los número de la imagen:

- a) 1. Intensidad luminosa; 2. Luminancia; 3 Iluminancia; 4. Flujo luminoso
- b) 1. Flujo luminoso; 2. Intensidad luminosa; 3. Iluminancia; 4. Luminancia
- c) 1. Flujo luminoso; 2. Intensidad luminosa; 3. Luminancia; 4. Iluminancia



¿Preguntas?

Muchas Gracias

