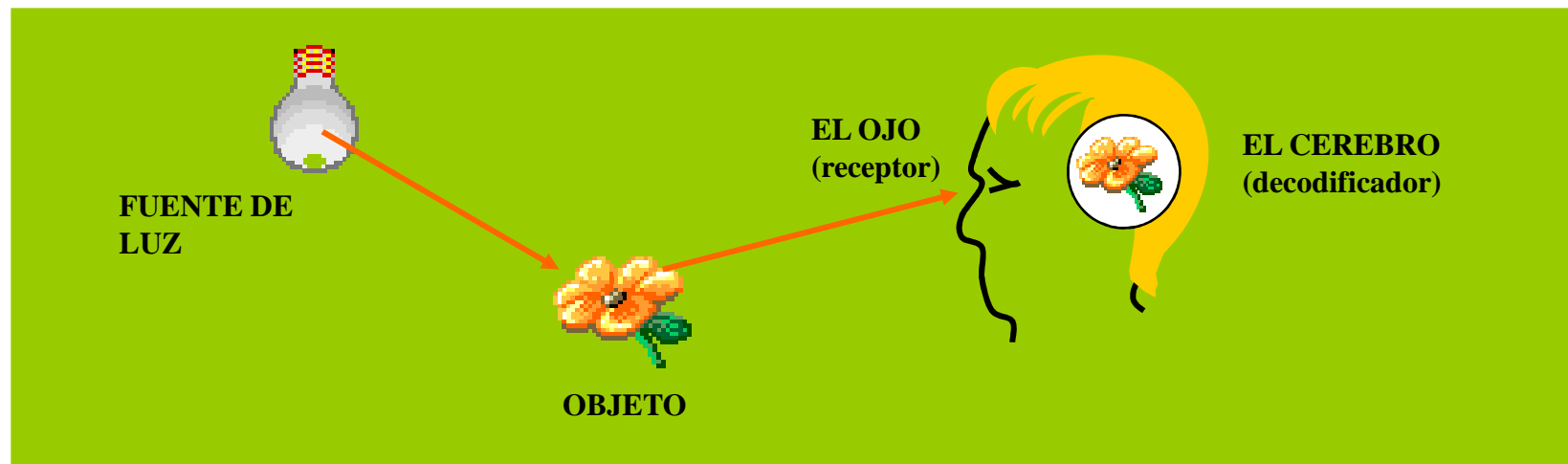


# **CAPITULO 1**

# LUZ, VISION Y COLOR

## EL PROCESO DE LA VISION

En el proceso de la visión se encuentran presentes cuatro elementos fundamentales: la luz, un objeto, un receptor (el ojo) y un decodificador (el cerebro). Los rayos de luz, reflejados o transmitidos por el objeto, estimulan a los receptores del ojo, los cuales transmiten señales al cerebro, donde estos producen la sensación de visión. El cerebro y el ojo colaboran entre sí en transformar la energía radiante en sensación de visión.



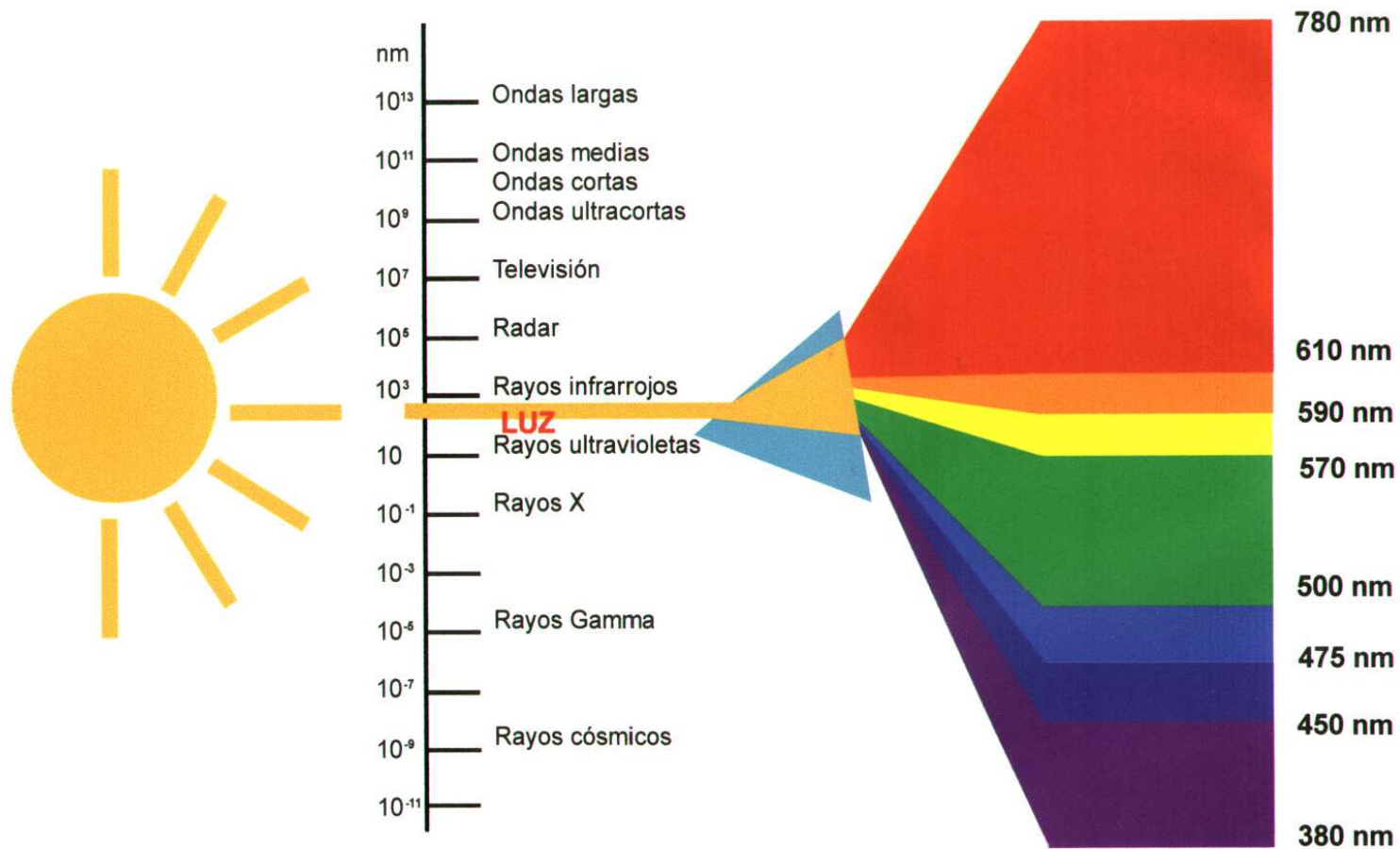
# **LUZ, VISION Y COLOR**

## **LA LUZ ES ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA VISIBLE**

La luz es energía electromagnética emitida dentro de la porción visible del espectro. El ojo responde a las longitudes de onda de energía electromagnética en el rango entre la radiación ultra violeta y la infrarroja. La longitud de onda (distancia entre sucesivas crestas) de luz varía entre los 380 nm (nanometros) a los 780 nm. (1 nanometro es la mil millonésima parte de un metro.)

La longitud de onda donde el ojo tiene su mejor respuesta es en la porción amarillo verdoso del espectro, es decir, en los 555 nm. Luego decrece tanto hacia las longitudes más cortas como hacia las más largas.

# LUZ, VISION Y COLOR



# **LUZ, VISION Y COLOR**

## **LUMINANCIA E ILUMINANCIA (Introducción)**

**La Iluminancia es la luz que incide *sobre* una superficie. Se mide en lux. En una noche de luna llena, la iluminancia sobre la tierra es 0.2 lux. La iluminancia de espacios típicos comerciales y de oficinas es alrededor de 500 lux.**

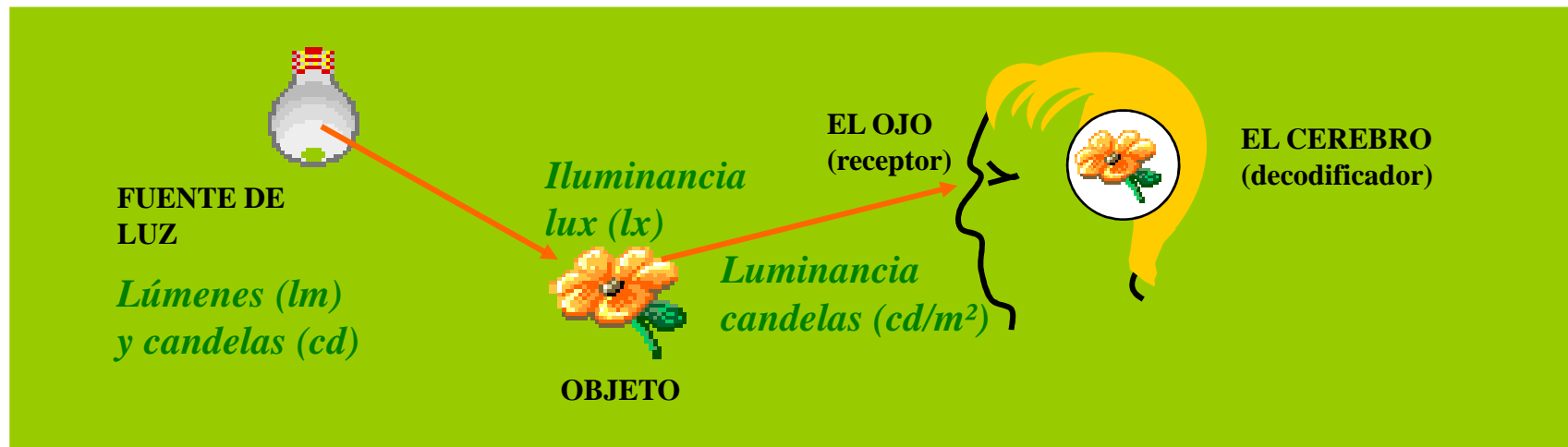
**El ser humano no ve Iluminancia o “lux” sino brillo, resultante de la luz transmitida o reflejada por una superficie. Este brillo se denomina Luminancia y se mide en Candelas por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).**

**Veremos los términos iluminancia y luminancia en detalle más adelante.**

# LUZ, VISION Y COLOR

## LUMINANCIA Y BRILLO

Como ya se dijo anteriormente, para poder ver es necesario que haya luz, un objeto, un receptor (el ojo) y un decodificador (el cerebro). En la gráfica siguiente, podemos relacionar la visión con la iluminancia con que un objeto está iluminado y la luminancia proveniente del objeto, con lo cual percibimos dicho objeto.

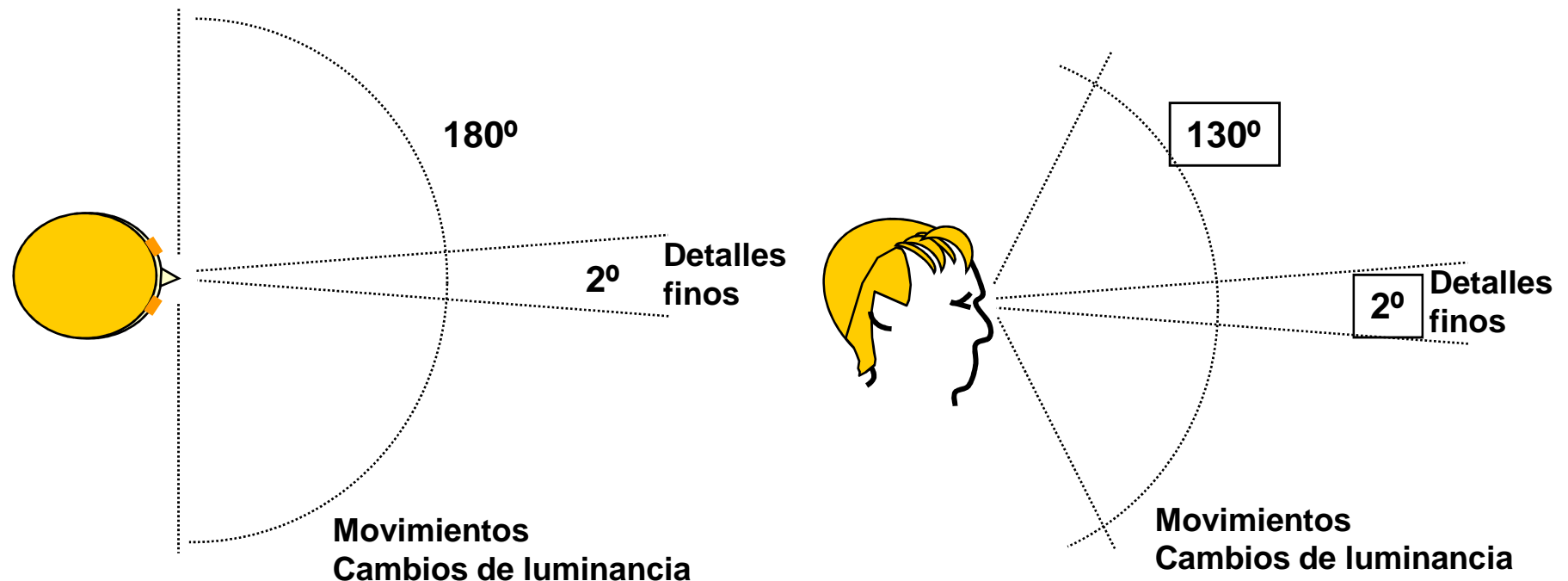


*El luminotécnico distingue entre “Luminancia”, que es lo que se mide, y “Brillo”, que es lo que el ojo percibe. El Brillo es subjetivo y depende del entorno visual.*

# LUZ, VISION Y COLOR

## EL CAMPO VISUAL

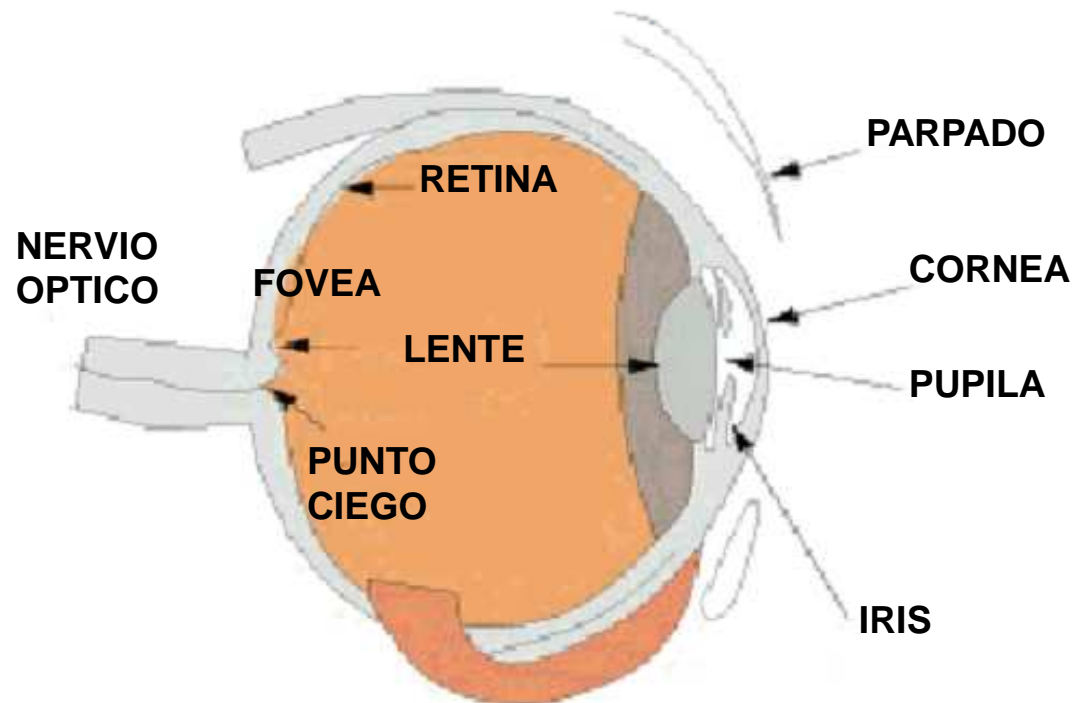
El CAMPO VISUAL es el área que el ojo abarca normalmente. Se extiende cerca de  $180^\circ$  en el plano horizontal y unos  $130^\circ$  en el vertical. No obstante, los detalles más finos solo se pueden ver dentro de un pequeño ángulo de tan solo  $2^\circ$



# LUZ, VISION Y COLOR

## EL CAMPO VISUAL

Los detalles más finos se ven en una pequeña área llamada FOVEA. Los detalles se harán cada vez menos claros a medida que se acercan al límite del Campo Visual; no obstante, los movimientos y cambios de Luminancia serán detectados aún en la perifería.

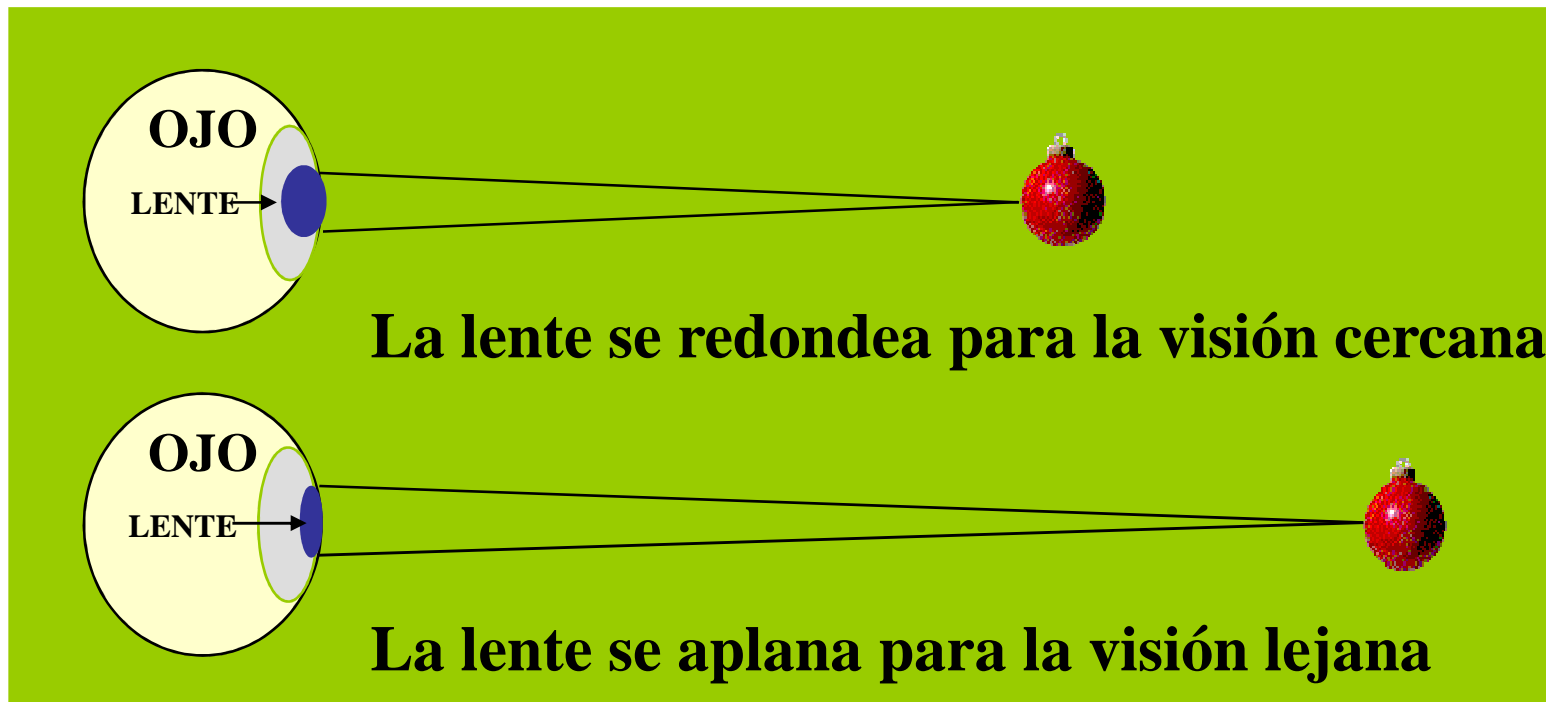




# LUZ, VISION Y COLOR

## LA ACOMODACION

*Acomodación* es el proceso por el cual el ojo localiza y enfoca un objeto. Cuanto más cercano esté el objeto más convexa se pondrá la lente. Más lejano el objeto, más plana será la lente. Cuando la lente no puede adaptarse al cambio se utilizan cristales recetados.



# LUZ, VISION Y COLOR

## LA ADAPTACION

La *Adaptación* involucra el tamaño de apertura de la pupila y la sensibilidad de la retina. La pupila del ojo se contrae frente a elevados niveles de iluminación y se dilata en la medida que la iluminancia decrece. Necesita más tiempo en adaptarse de las altas luces a la oscuridad que a la inversa.



# LUZ, VISION Y COLOR

## EL RANGO VISUAL

El Rango Visual al que está habituado el ser humano se extiende desde la iluminancia de una noche de luna llena, aproximadamente 0.2 lux, hasta la de un día de verano al mediodía, aproximadamente 100.000 lux (medida de la bóveda celeste, sin la luz directa del sol). La mayoría de los locales comerciales están iluminados con 500 a 1000 lux dependiendo de la actividad y una oficina con 500 lux.



# LUZ, VISION Y COLOR

## LA VISION Y LA EDAD

El ojo de un joven de 20 años se ajusta rápida y fácilmente a cambios en la iluminación del entorno. Con la edad, el ojo pierde su elasticidad y su velocidad de acomodación. Una persona de 60 años puede requerir hasta 10 veces el nivel de iluminación (iluminancia) que una de 20 para realizar la misma tarea visual con la misma velocidad y precisión. Además, sus ojos son mucho más sensibles a los altos niveles de luminancia (brillo).



# LUZ, VISION Y COLOR

## FACTORES EN LA VISIBILIDAD

Los cuatro factores que en conjunto determinan la visibilidad son:

- \* **El tamaño**
- \* **El contraste**
- \* **La luminancia**
- \* **El tiempo**

Aumentos en cualquier combinación de los factores (e.g. mayor tamaño, mayor contraste y/o mayor luminancia) mejora la visibilidad.

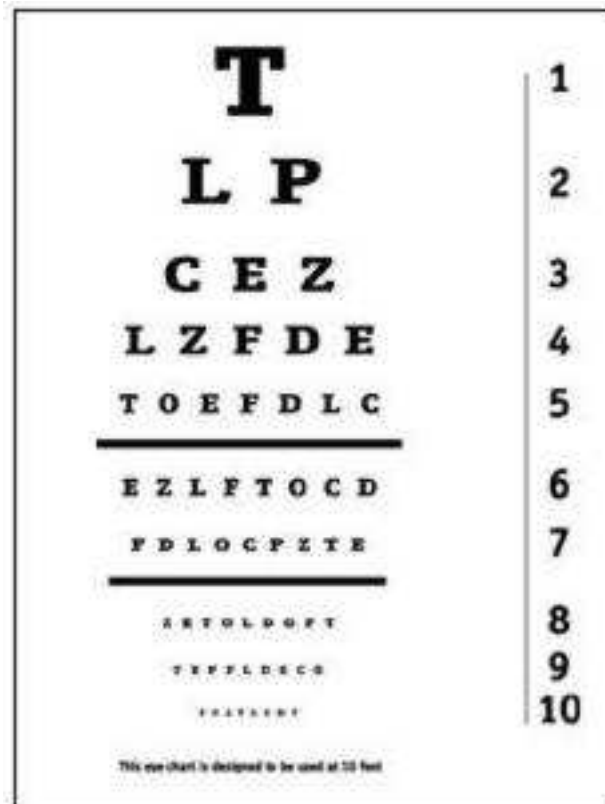
Mirar por más **tiempo** también mejora la visibilidad. A continuación, analizaremos cada uno de los 4 factores y el tiempo.



# LUZ, VISION Y COLOR

## EL TAMAÑO

Cuanto más grande sea el objeto o más cercano se encuentre, tanto más fácil será su visión.



# LUZ, VISION Y COLOR

## EL CONTRASTE

La diferencia entre la luminancia de un objeto y el de su fondo se denomina *Contraste*. Letras negras sobre fondo blanco son fáciles de leer porque el contraste se aproxima al 100%. Pero una escritura en gris con una reflectancia de 40% sobre papel gris de 80% tendrán un contraste de solo 50%, lo que dificulta la lectura. La visibilidad de los bajos contrastes puede ser mejorada con mayor nivel de iluminación o utilizando color.

**Alto contraste**

El contraste es necesario

**Bajo contraste**

El contraste es necesario

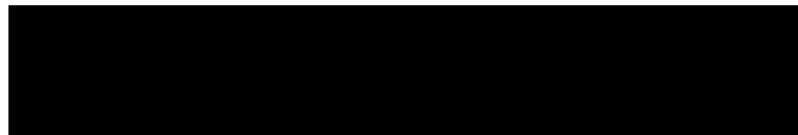
# LUZ, VISION Y COLOR

## LA LUMINANCIA

La *Luminancia* es la cantidad de luz reflejada o transmitida por un objeto. Una superficie de color oscuro refleja menos luz que una clara, por lo cual la superficie oscura requerirá de mayor iluminancia para igualar la luminancia de la más clara. La luminancia de una actividad, tal como la lectura, es un factor clave en la visibilidad.

Una experiencia práctica es tratar de leer una tercera copia de carbónico con muy bajo contraste; al acercarla a la fuente de luz mejorará la visibilidad.

**Alto contraste**



**Bajo contraste**

**El contraste es necesario**



# LUZ, VISION Y COLOR

## EL TIEMPO

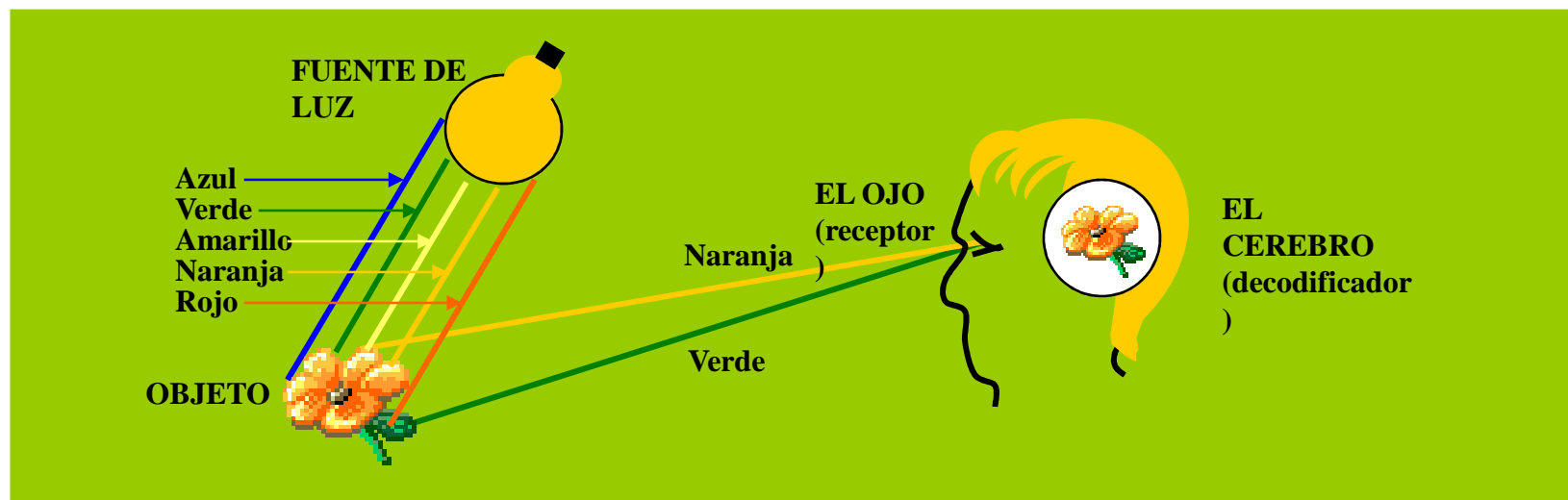
Cuanto menor sea la visibilidad tanto mayor será el tiempo que se requiera para ver los detalles. Un tamaño pequeño, un bajo contraste y un pobre nivel de iluminación son elementos que elevan el tiempo necesario. El factor *Tiempo* es esencialmente importante cuando el movimiento se encuentra involucrado; por ejemplo conduciendo un automóvil. Con bajos niveles de iluminación, un objeto parece moverse más lentamente que con niveles más elevados.



# LUZ, VISION Y COLOR

## EL COLOR DEL OBJETO

El color es un factor muy importante en el efecto emocional de cualquier espacio. Sin luz no hay color. Hay dos formas de reconocimiento del color: el color de la luz, que involucra la composición espectral de la luz que incide sobre el objeto y el color del objeto, que comprende las características reflectivas del objeto. Básicamente, nosotros vemos “color” porque el objeto refleja selectivamente una cierta porción de la luz que recibe.



# LUZ, VISION Y COLOR

## EL COLOR DEL OBJETO Y EL COLOR DE LA FUENTE

Como sabemos, la luz es energía radiante dentro del espectro visible. Luz de los colores **rojo**, **verde** y **azul** pueden combinarse para generar cualquier color. (De hecho, nuestros televisores color funcionan de esta manera.) Por ello, estos tres colores se denominan colores “*primarios*”. Una impresora color imprime con tres colores, que son “*complementarios*” a los colores primarios.

El color del objeto depende de los pigmentos, la tintura o pintura, los que funcionan como reflectores selectivos, reflejando la luz de “ese” color.

# LUZ, VISION Y COLOR

## EL COLOR DEL OBJETO Y EL COLOR DE LA FUENTE

Los colores **complementarios** son **turquesa, magenta y amarillo**.

Combinando los colores de la luz primaria, se puede generar luces de cualquier color. De la misma manera, combinando los colores secundarios, se puede lograr que la superficie (por ejemplo el papel de la impresora) refleje cualquier color. El ojo percibirá ese color siempre y cuando esté iluminado con una *luz blanca* cuyo espectro contenga a *ese* color (o alguna fuente que incluya los colores impresos a reflejar)...

# LUZ, VISION Y COLOR

## EL COLOR DEL OBJETO Y EL COLOR DE LA FUENTE

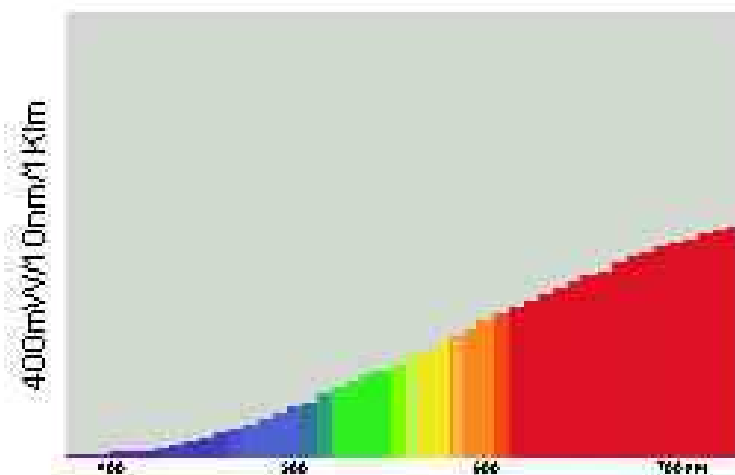
Por ejemplo, si una hoja **verde** sobre una manzana **roja** fuera iluminada solo con la luz **roja**, la manzana se vería **roja**, pero la hoja aparecería sin color o “negra”. Por el contrario, si la manzana fuera iluminada solo con luz **verde**, aparecería “negra” pero la hoja se percibiría como **verde**. Esto se debe a que uno de los colores primarios no tiene componente de alguno de los otros colores primarios. Si un color no se encuentra en la fuente de luz, éste no podría ser reflejado o visto en el objeto iluminado.



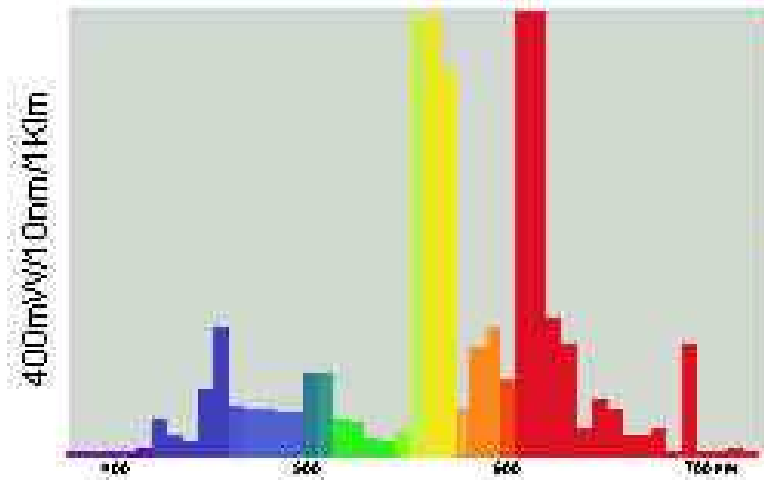
# LUZ, VISION Y COLOR

## DISTRIBUCION DE LA ENERGIA ESPECTRAL (DEE)

La composición de color de cualquier fuente de luz puede ser obtenida graficando la cantidad de energía para cada longitud de onda. Esto se conoce como diagrama de *Distribución de la Energía Espectral*. Cada fuente de luz puede ser descrita minuciosamente por medio de su diagrama de DEE. Cuanto más alto sea el diagrama en un punto, más energía tendrá la fuente en esa longitud de onda.



Lámpara incandescente



Lámpara fluorescente trifosforo cálida

# LUZ, VISION Y COLOR

## EL DIAGRAMA “DEE” Y EL RENDIMIENTO DE COLOR

El diagrama de DEE indica las propiedades de rendimiento de color de una fuente de luz. Una fuente con mucha energía radiante en los colores rojo y naranja resaltarán esos colores. Una fuente rica en azules y verdes destacará esos colores. Del mismo modo una fuente pobre en uno de los extremos del espectro tenderá a grisar o apagar esos colores. Como ya se ha visto, una fuente que tiene un solo color, por ejemplo rojo, destacará ese solo color y ningún otro.

**Fuente con gran contenido de rojo**



**Fuente con gran contenido de azul**



# LUZ, VISION Y COLOR

## LUZ CALIDA Y LUZ FRIA

Habitualmente se utilizan los terminos **Cálido** y **Frio** para caracterizar a los varios colores de luz blanca. Estos son términos que tal vez respondan a las experiencias acumuladas sobre la luz a partir de la invención de la luz eléctrica.

Cálido se refiere a las fuentes de luz ricas en rojos y naranjas, tal vez evocando al fuego y las velas. Frío se refiere a las fuentes ricas en azul, probablemente asociando al color del cielo. e

**Luz blanca cálida**



**Luz blanca fría**



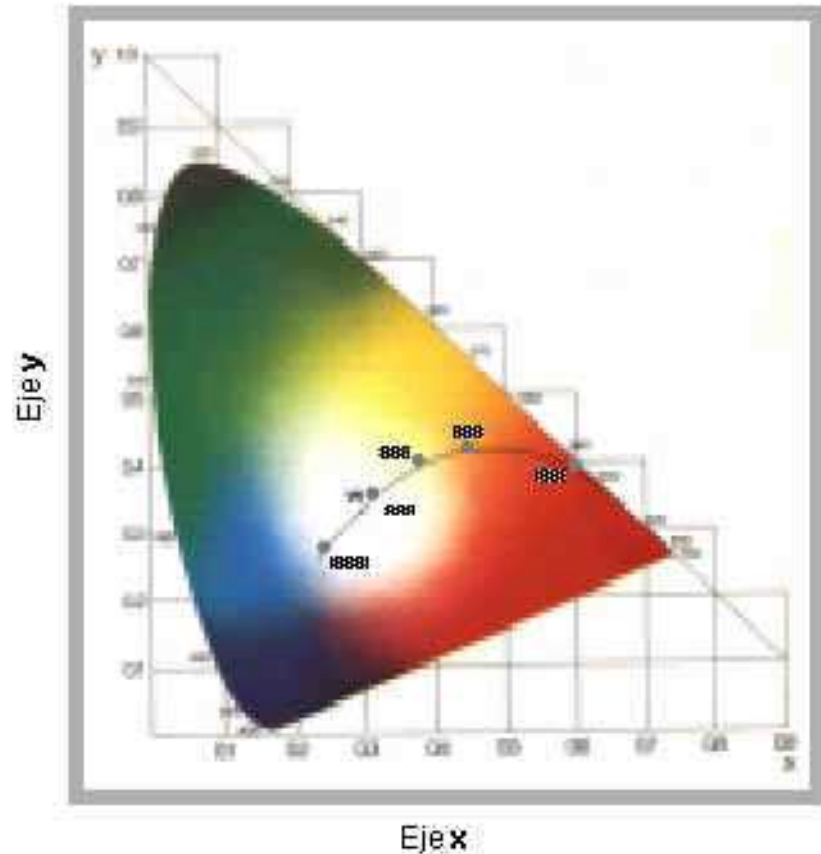


# LUZ, VISION Y COLOR

## CROMATICIDAD

La *Cromaticidad* es la acepción técnica para definir el color de la luz. Los diagramas DEE resultan algo engorrosos para describir con precisión la Cromaticidad.

El triángulo de la cromaticidad de la CIE (derecha) permite describir la luz de la fuente por sus coordenadas en el gráfico. El triángulo ayuda, pero para el trabajo cotidiano se requieren herramientas más simples.



# LUZ, VISION Y COLOR

## TEMPERATURA DE COLOR (TC)

Otra manera de presentar el color de una fuente es por su “temperatura de color”.

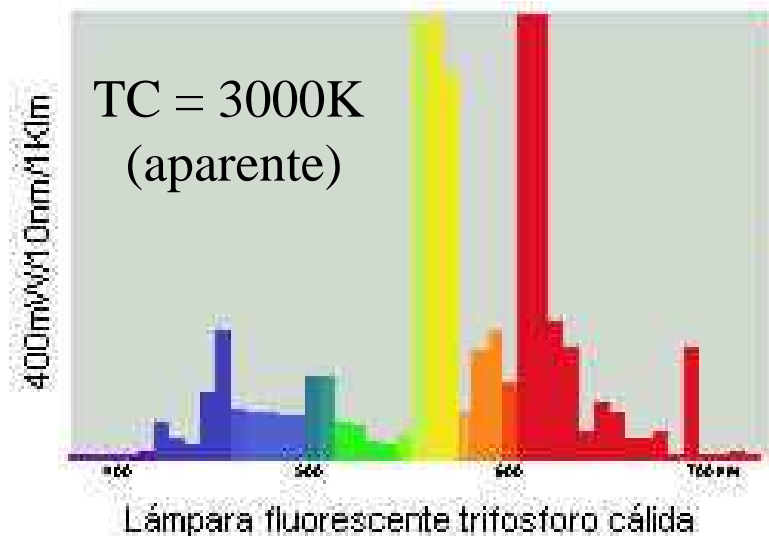
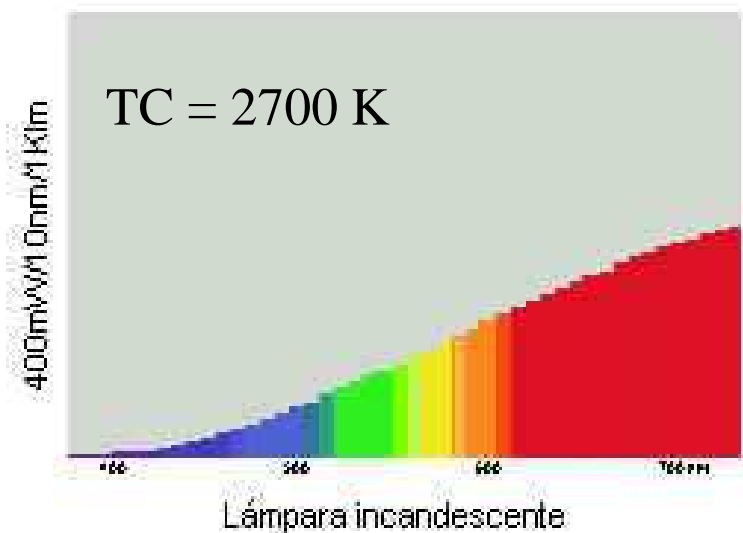
Cuando un metal es calentado, pasa por una gama de colores que van desde el rojo al azul, pasando por el rojo claro, naranja, amarillo, blanco y blanco azulado. El color percibido por el ojo depende de la temperatura del objeto calentado.

La *temperatura de color* se refiere al color de luz emitida por ciertas superficies con propiedades puras, denominadas “cuerpo negro”. Por ejemplo nuestro sol se aproxima a un cuerpo negro cuya superficie está a una temperatura de 6500 grados Kelvin. (Los grados Kelvin son 273 grados más que los “Centígrados”. (La temperatura 273 grados C bajo cero, que corresponde al cero grado Kelvin, es el valor mínimo de temperatura que existe; es el cero absoluto.)

# LUZ, VISION Y COLOR

## TEMPERATURA DE COLOR (TC)

Decimos que una lámpara tiene una temperatura de color de 6500 K si su “apariencia de color” es similar al del sol. Una lámpara incandescente común tiene una temperatura de color del 2700 K. Como el filamento de la lámpara es, (como el sol) un cuerpo negro, ésta es la temperatura del filamento. En una lámpara fluorescente, cuya fuente de luz no es un cuerpo negro, la temperatura de color es sólo la *apariencia* de color de un cuerpo negro a esa temperatura.



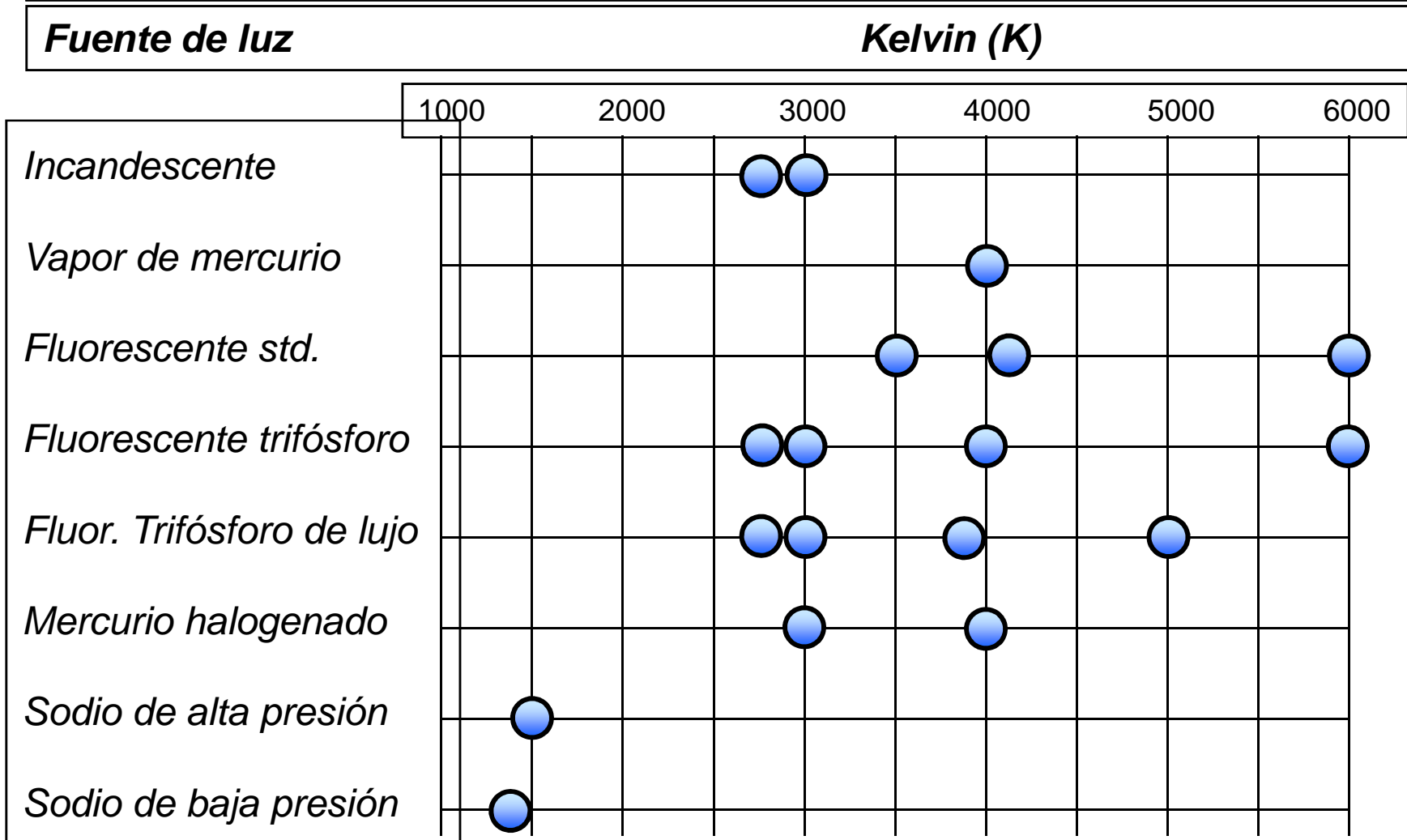
# LUZ, VISION Y COLOR

## Temperatura de color de algunas fuentes de luz

- *Lámpara incandescente* *2700*  
*K*
- *Tubo fluorescente blanco cálido* *3000*  
*K*
- *Lámpara incandescente halógena* *3100 K*
- *Tubo fluorescente blanco neutro* *4000*  
*K*
- *Tubo fluorescente luz día* *6500*  
*K*

# LUZ, VISION Y COLOR

**Cuadro comparativo de la Temperatura de Color de algunas fuentes de luz  
(TC - Kelvin)**



# LUZ, VISION Y COLOR

## El rendimiento de color

Cuanto más *continua* y pareja es la emisión de la radiación electromagnética en función de las distintas longitudes de onda, tal como se representa en el diagrama de DEE, mejor será su capacidad de reproducir los colores con naturalidad.

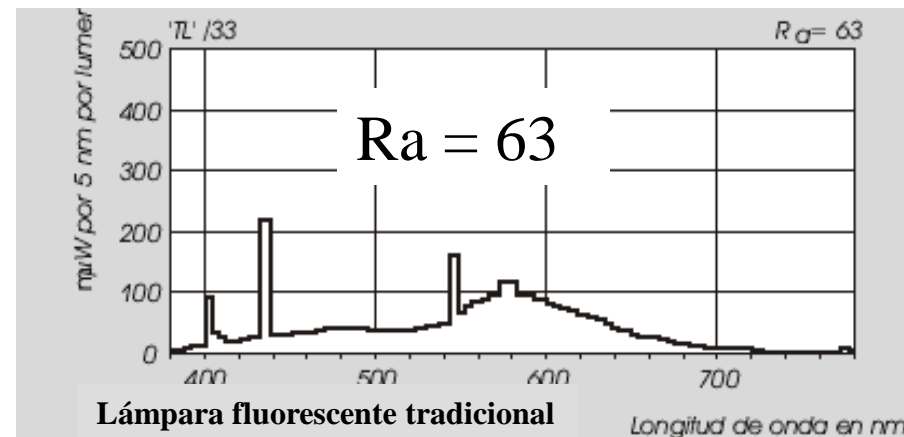
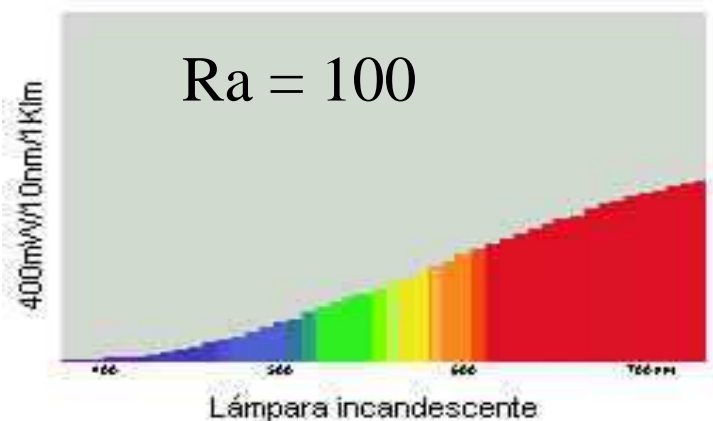
Esta propiedad de las fuentes de luz se denomina “*Rendimiento de Color*”.

Este factor se valoriza mediante el “*Indice de Reproducción Cromática*” (*IRC*) y se representa con la sigla *Ra*, siendo su valor máximo 100.

# LUZ, VISION Y COLOR

## El rendimiento de color

Por ello, para determinar el valor patrón de “IRC = 100”, la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) eligió a la lámpara incandescente. La emisión de luz de esta lámpara contiene un espectro llamado “*Continuo*”, es decir que su DEE contiene a todos los colores del espectro visible (si bien no en la misma proporción). Esto se observa en la figura de la izquierda. Por contraste, una lámpara fluorescente *tradicional* tiene un espectro discontinuo (figura de la derecha) por lo cual su índice de reproducción cromática (IRC) es bajo, generalmente alrededor de 65.



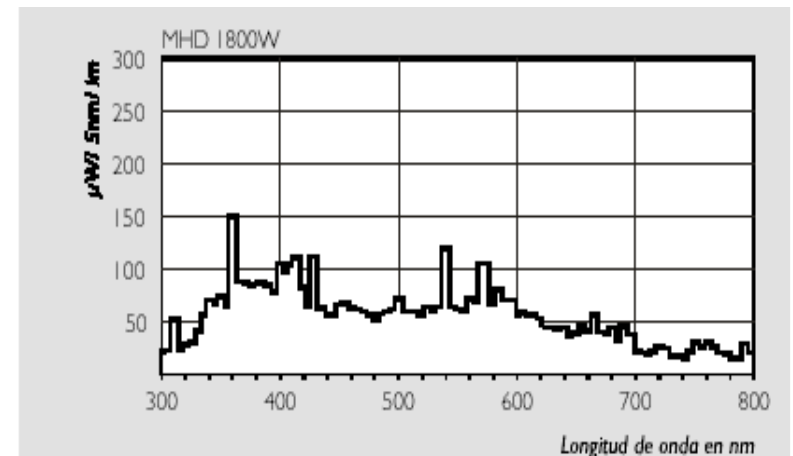
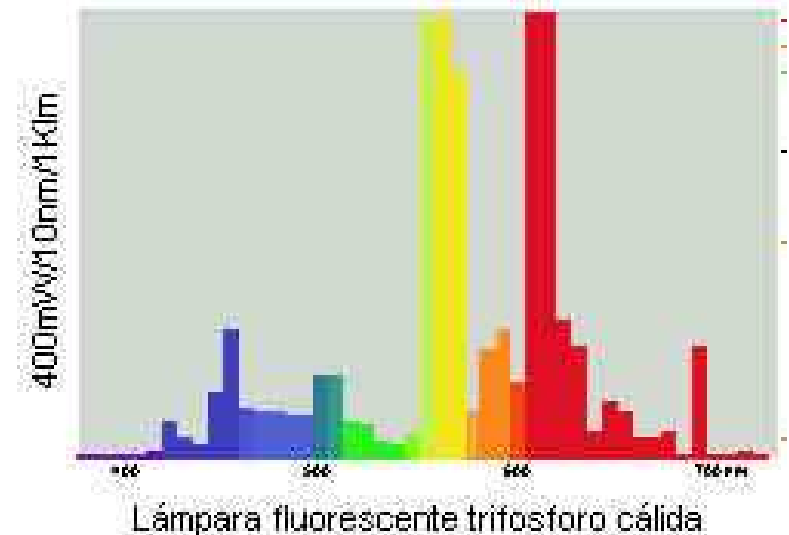
# LUZ, VISION Y COLOR

## El rendimiento de color

Una nueva generación de tubos fluorescentes, denominados trifósforo, emiten en un espectro de colores más continuo y tienen un Ra de 80 (derecha).

Valores hasta Ra de 90 se consiguen en los modelos denominados “de lujo”

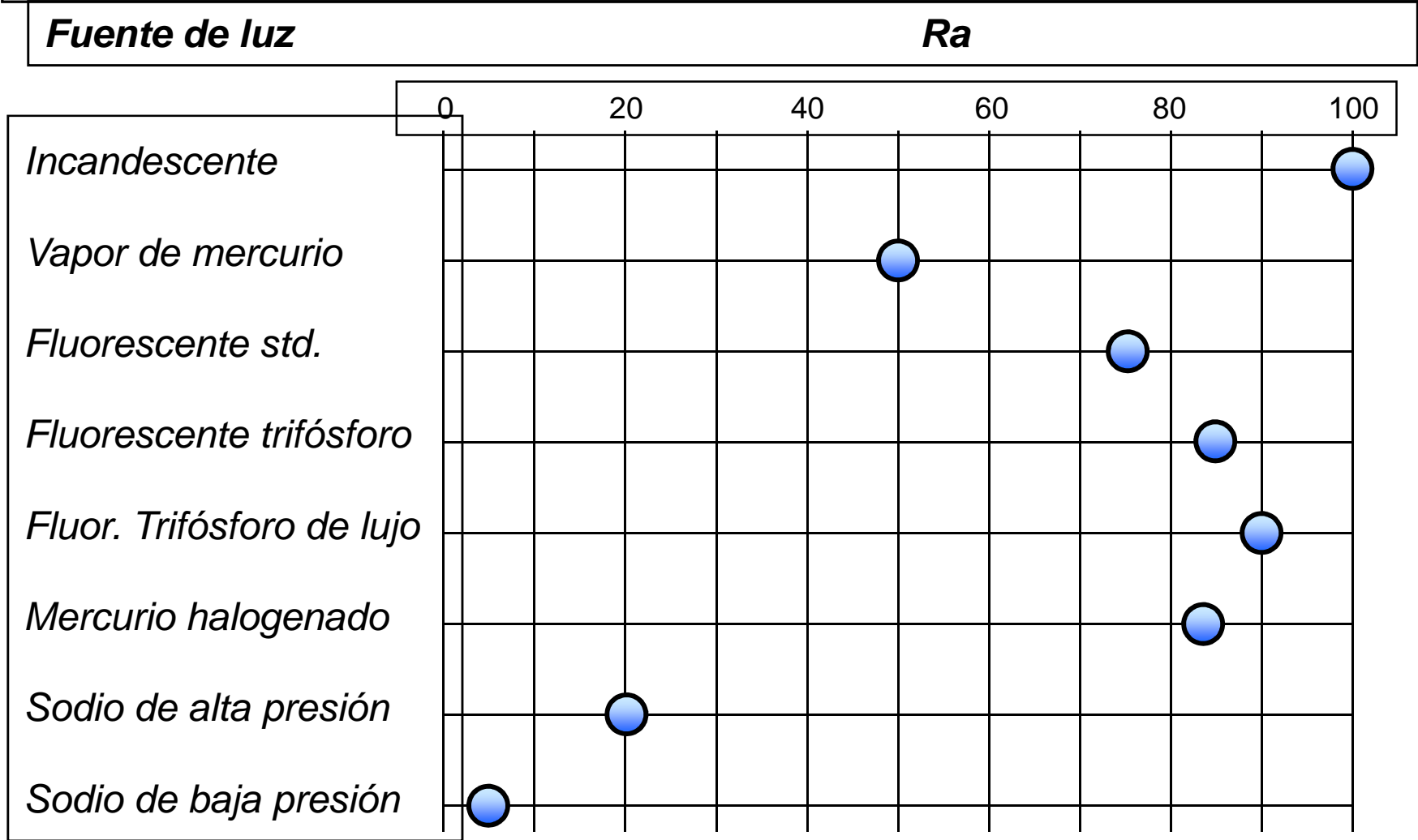
Las lámparas de mercurio halogenado emiten luz blanca con Ra de hasta 90 (derecha).





# LUZ, VISION Y COLOR

Cuadro comparativo del índice de reproducción cromática de algunas fuentes (IRC)



# **LUZ, VISION Y COLOR**

## **LA TEMPERATURA DE COLOR (TC) Y EL IRC**

Es necesario que estas dos características de las fuentes de luz sean debidamente comprendidas y utilizadas prudentemente. Ninguna de ellas por sí solas definen a una fuente; ambas deben trabajar en conjunto al seleccionar un tipo de lámpara.

Supongamos a dos fuentes de luz con diferentes composiciones espectrales. Ambas pueden tener la misma Temperatura de Color, ser del tipo “cálido” pero tener un IRC diferente y reproducir los colores de manera distinta. Tal es el caso de una Dicroica (aprox. 3000 K) y una de Mercurio halogenado cálida (3000 K); la dicróica tiene mucho más rojo en su espectro que la de mercurio halogenado. De la misma forma podrían tener igual IRC y diferente TC (Mercurio halogenado y fluorescente standard).

*(Ver las tablas comparativas en las diapositivas precedentes)*

# LUZ, VISION Y COLOR

## El rendimiento de color y la eficiencia

Las fluorescentes trifósforos y las de mercurio halogenado combinan alto rendimiento energético y altos índices de reproducción cromática, demostrando que *es posible tener lámparas de alta eficiencia energética que a la vez emitan excelente calidad de luz*. Este es uno de los mensajes esenciales del Programa de Iluminación Eficiente ELI.

### En síntesis:

- ***IRC - (Indice de Rendimiento de Color)***
- ***Se define con la sigla Ra***
- ***Patrón: Lámpara incandescente (Ra =100)***
- ***Existen lámparas de alta eficiencia y alto Ra.***