

Curso de óptica y fotónica

Sesión 1: Introducción a la luz y fuentes de luz



Curso de óptica y fotónica

Introducción a la fotónica y generación de luz.

- Principios fundamentales: desde la dualidad onda-partícula hasta los procesos de generación en fuentes naturales.

Transmisión de la luz.

- Reflexión refracción, guías de onda, y cómo estas propiedades se aplican a tecnologías como fibras ópticas.

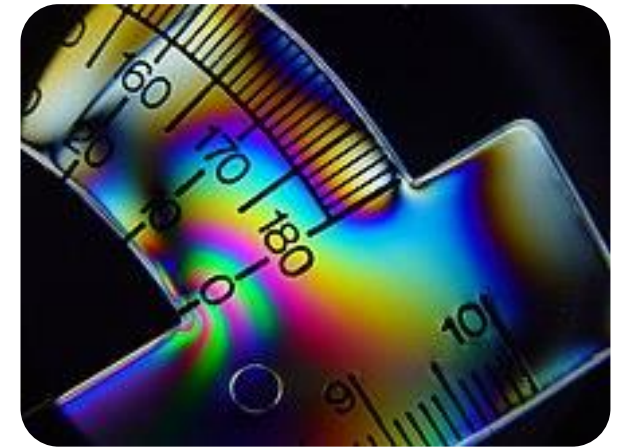
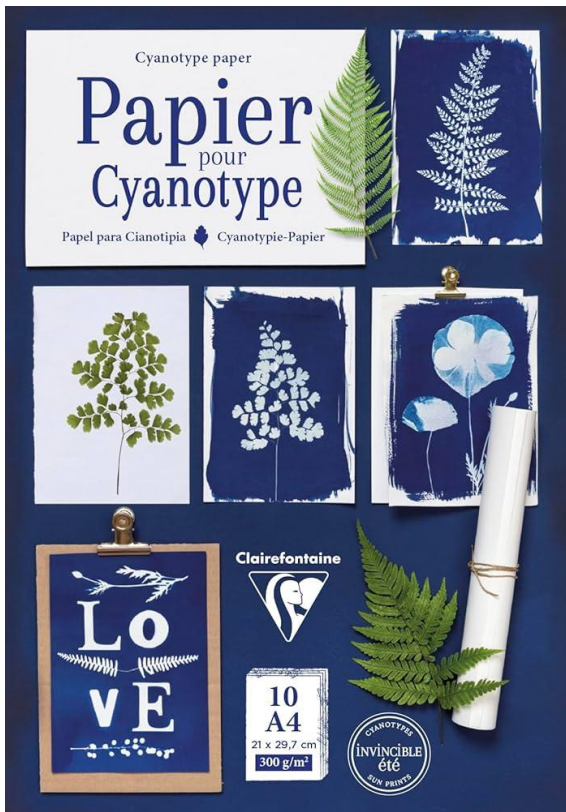
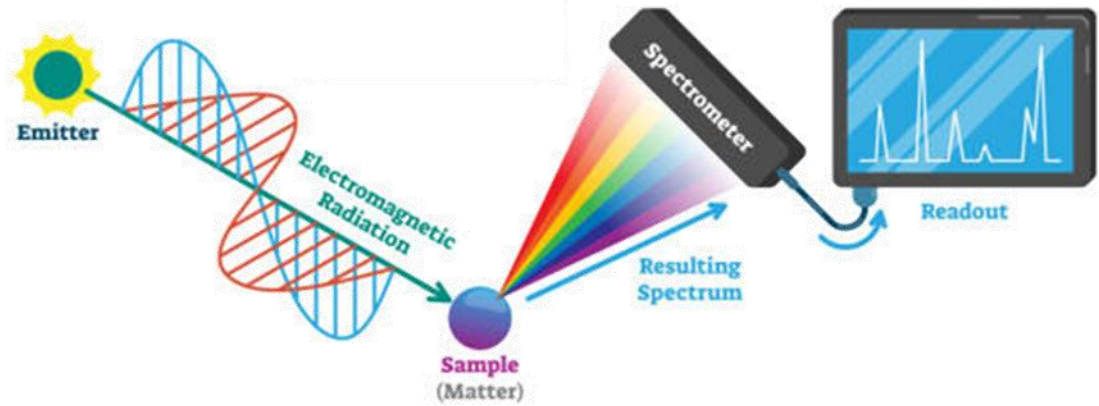
Detección de la luz.

- Polarización, efectos ópticos y detección de luz en aplicaciones prácticas.

Aplicaciones y retos.

- Relación entre los conceptos teóricos y su aplicación en los retos y experimentos en el aula

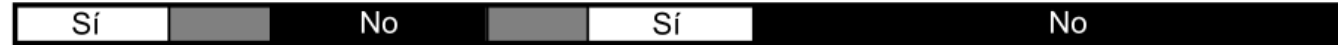
Kit y Retos



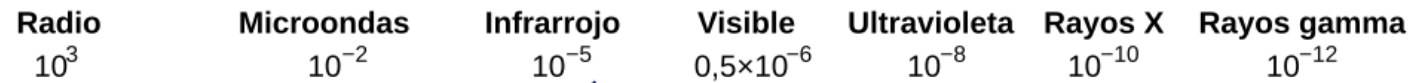
¿Qué es la fotónica?

La fotónica es la ciencia física y la tecnología relacionadas con la generación, el control y la detección de la luz.

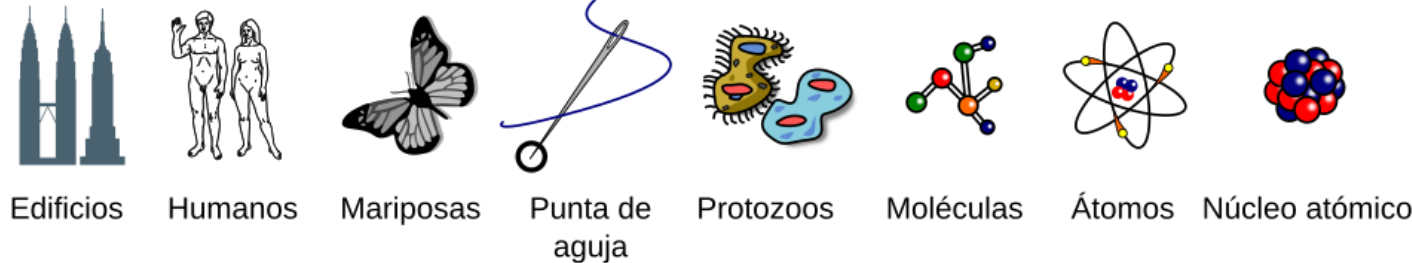
¿Penetra la atmósfera terrestre?



Tipo de radiación
Longitud de onda (m)



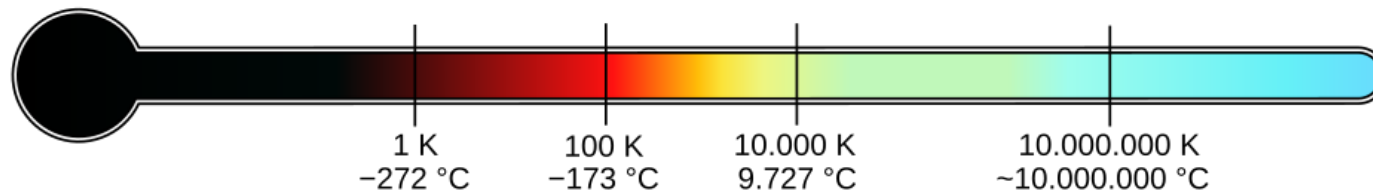
Escala aproximada de la longitud de onda



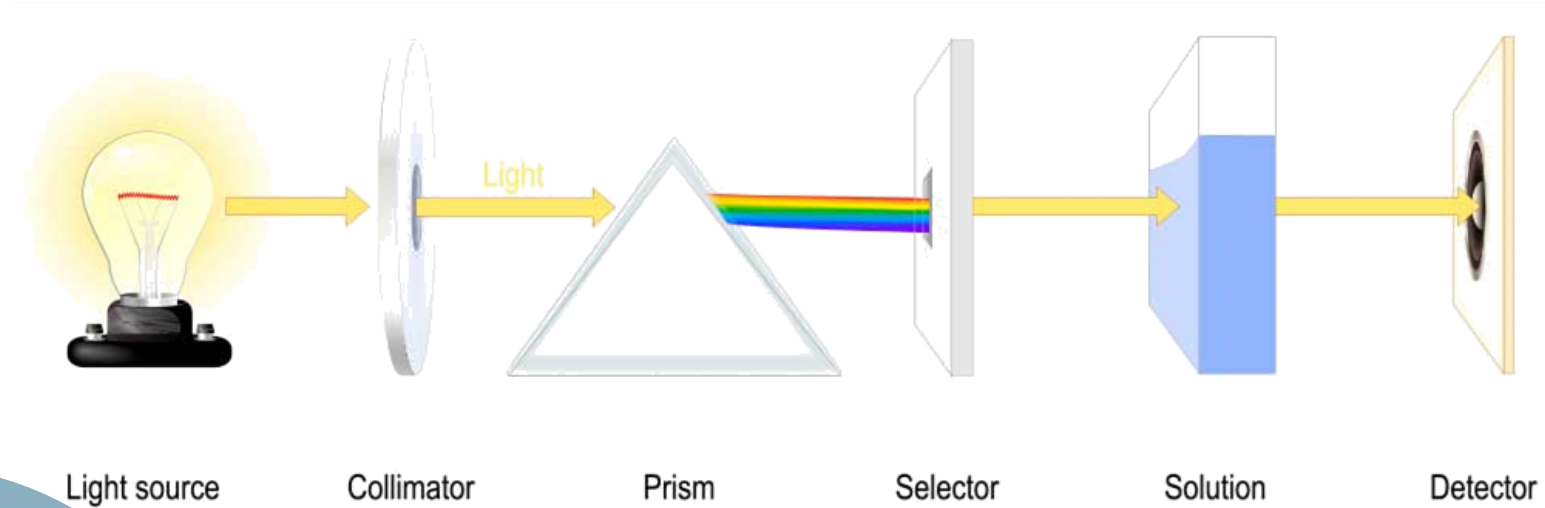
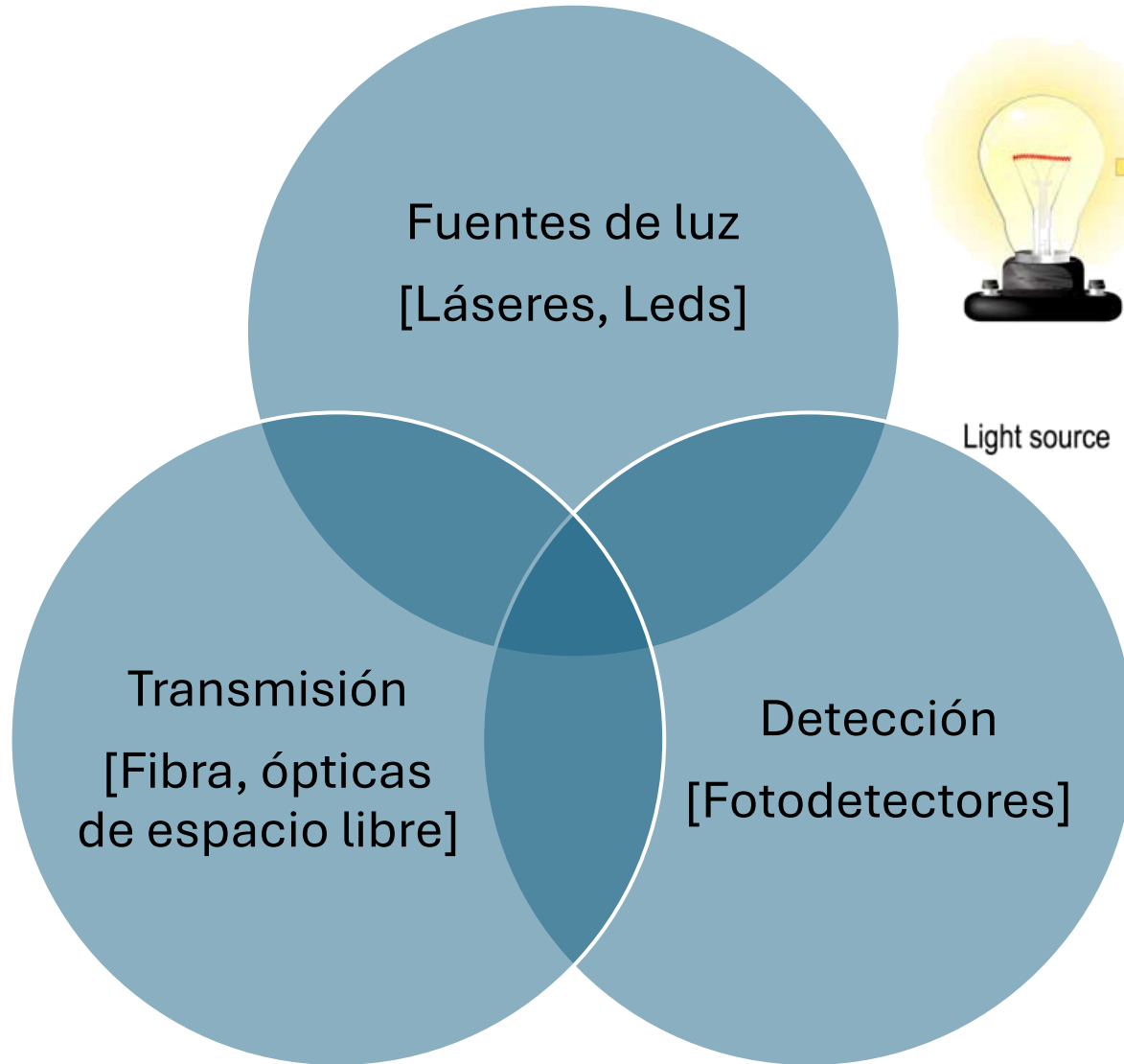
Frecuencia (Hz)



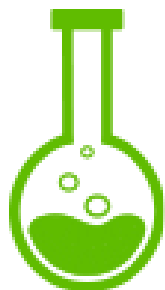
Temperatura de los objetos en los cuales la radiación con esta longitud de onda es la más intensa



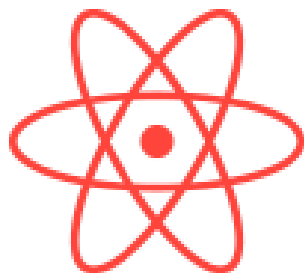
Fotónica



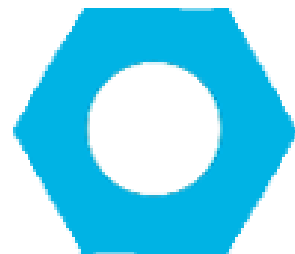
Importancia de la fotónica



Science



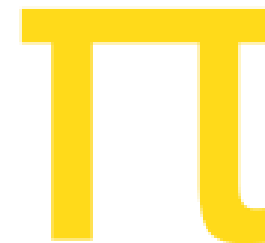
Technology



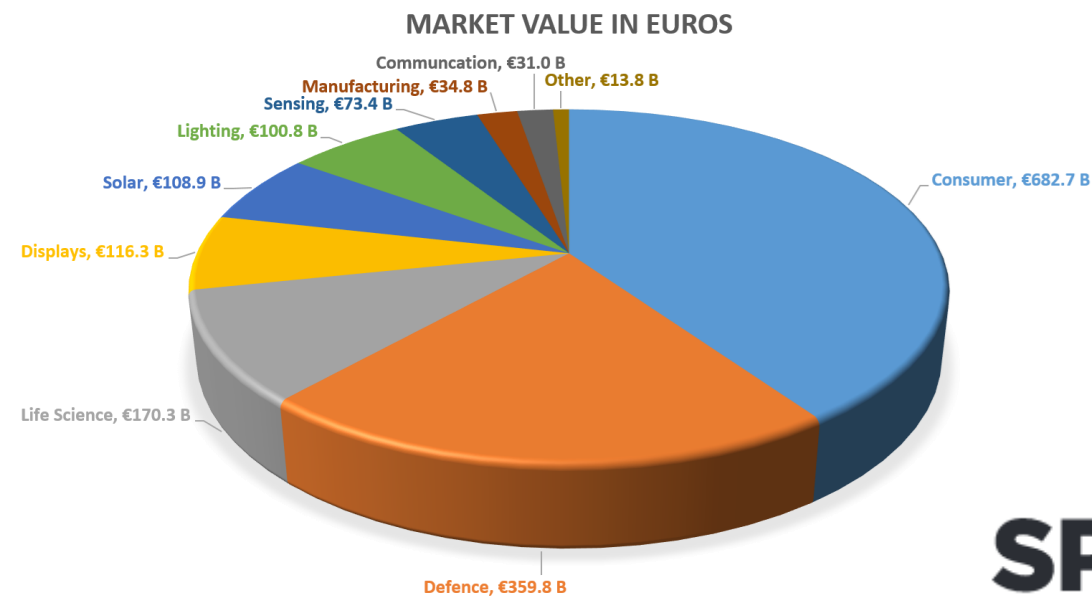
Engineering



Art



Mathematics



¿Qué es la luz?

Antigua
Grecia

Se pensaba que los ojos emitían luz

AlHazen

Los ojos no emiten, sino que reciben luz

Siglo XVII
- XVIII

- **Newton** :Propone la teoría corpuscular.
- **Huygens**:Desarrolla la teoría ondulatoria de la luz.
- **Young**: Realiza el experimento de la doble rendija, confirmando naturaleza ondulatoria de la luz

Siglo XIX

- **Maxwell**:Unifica electricidad y magnetismo en las ecuaciones de Maxwell, luz como onda electromagnética.
- **Michelson y Morley**: demuestran que el "éter" no existe, clave para la relatividad.

Siglo XX

- **Einstein** :Efecto fotoeléctrico, naturaleza cuántica de la luz y apoyando la idea de los fotones.
- **De Broglie**: Propone dualidad onda partícula.
- **Feynman**: QED, explica cómo la luz interactúa con la materia.

Historia de la Luz

HERON DE ALEJANDRIA

La rapidez de la luz es infinita ya que cuando uno abre los ojos las estrellas aparecen inmediatamente



EUCLIDES

Afirma que la luz viaja en línea recta y lo prueba.



GALILEO

Construye un experimento donde concluye que la luz es infinita



FERMAT

La luz se transparenta de un punto a otro en un tiempo mínimo.



NEWTON

La luz está compuesta por diminutas partículas materiales emitidas a gran velocidad en línea recta por cuerpos luminosos.



MICHELSON

Demuestra que los rayos de luz enviados en diferentes direcciones desde la tierra se reflejan a la misma velocidad.



PLANCK

La luz es una onda electromagnética de carácter discontinuo y está compuesta por pequeños paquetes de energía llamados cuantos de energía.



70 170

300

900

1665

1667

1680

1690

1704

1729

1880

1873

1918

1925

PITOLOMEO

Mide el ángulo de refracción, pero no descubre la ley dada por Snell.



ALHAZEN

La luz procede de algunos cuerpos; los cuerpos no tienen luz propia si no reflexión.



ROEMER

Calcula la velocidad de la luz utilizando los satélites.



HUYGENS

La luz es una onda mecánica que se desplaza en un medio llamado éter.



BRADLEY

Se basa en la aberración estelar en las estrellas y llega a determinar el valor de la velocidad de la luz $V=304.000\text{m/s}$.



MAXWELL

propone que luz, magnetismo y electricidad son parte de un mismo campo, llamado electromagnético, y en el que se mueven y propagan en ondas transversales.



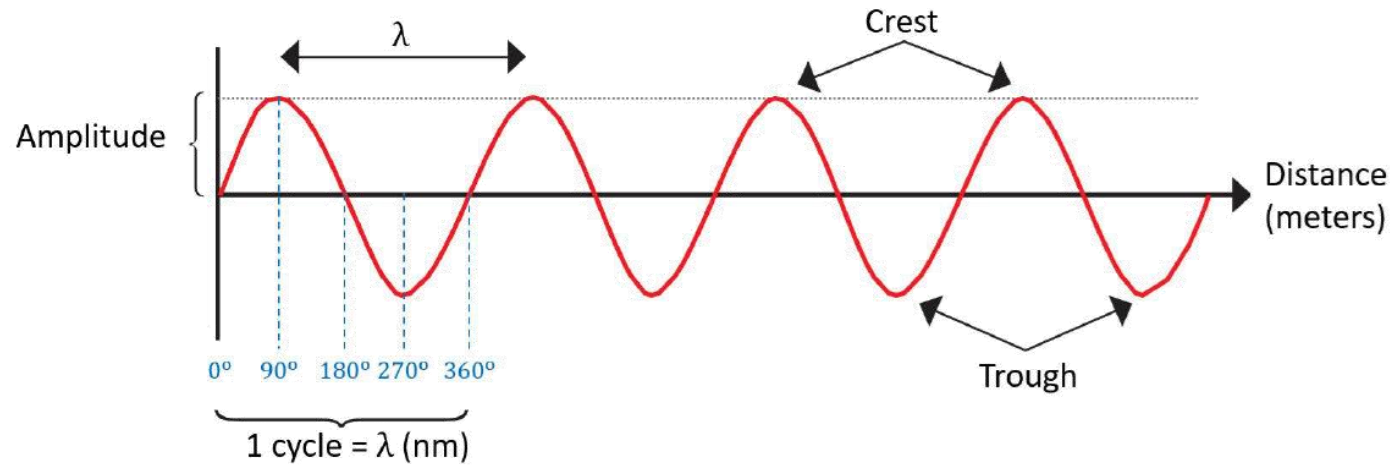
Victor de Broglie

Toda la materia presenta características tanto ondulatorias como corpusculares comportándose de uno u otro modo dependiendo del experimento específico.

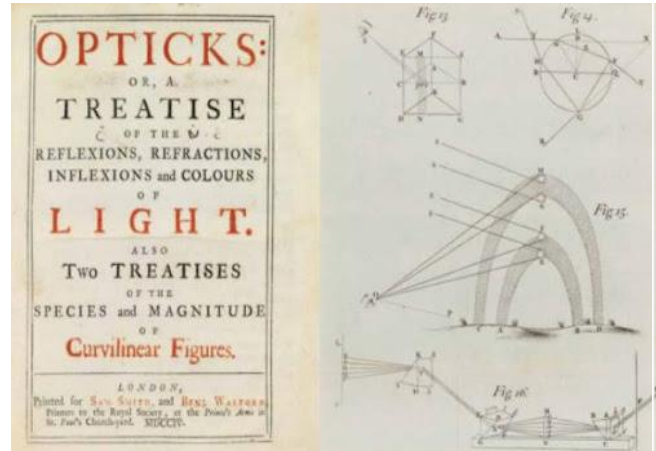
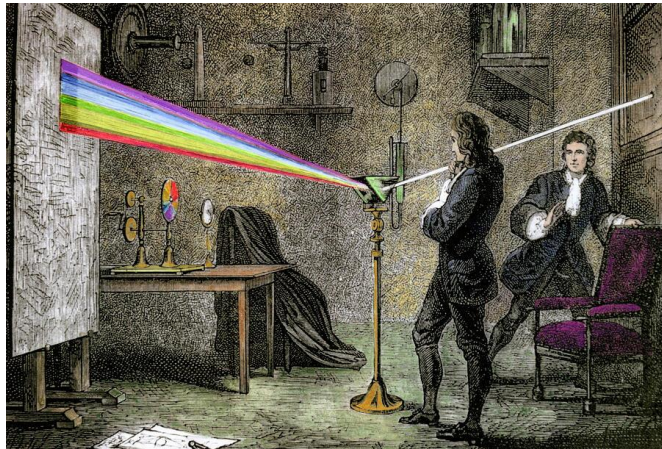


¿Qué es una onda?

Una onda es una perturbación que transporta energía de un punto a otro sin un desplazamiento significativo del medio.

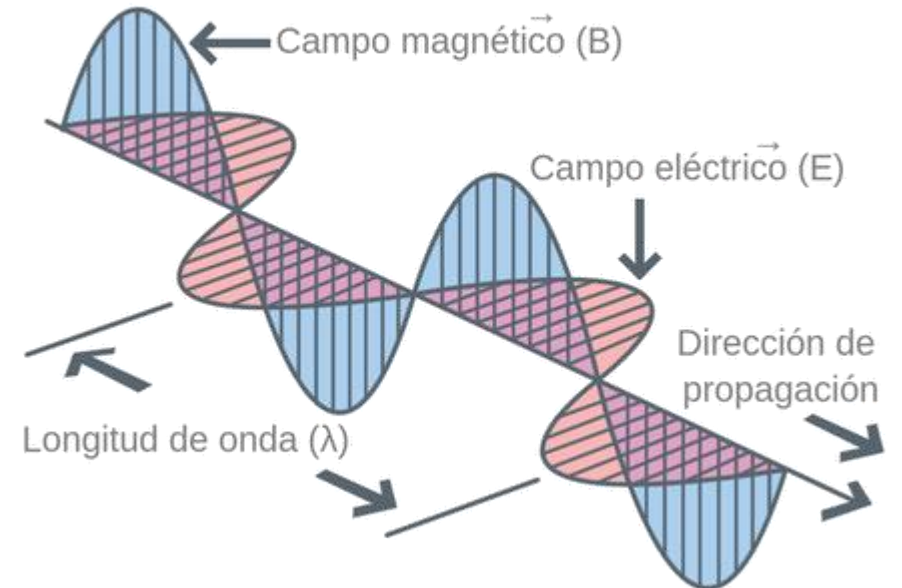


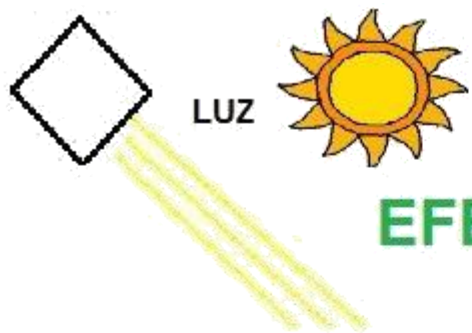
$$y(x, t) = A \cdot \sin(\omega t - kx + \varphi)$$



Características principales:

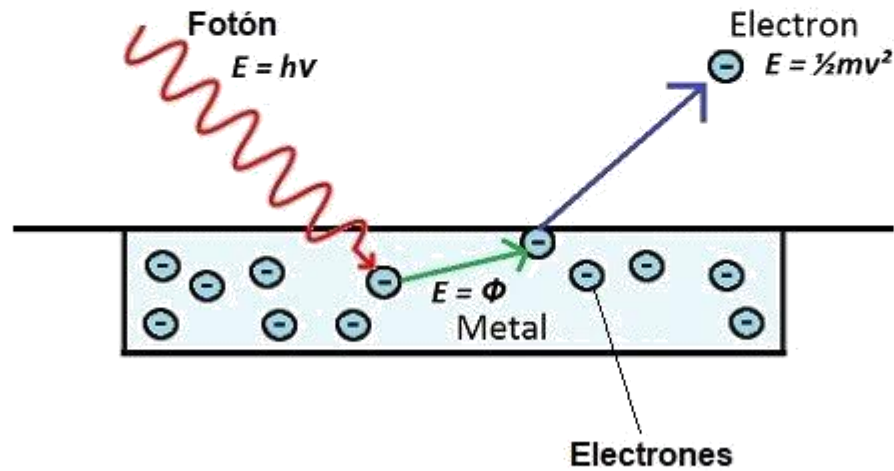
- **Longitud de onda (λ):** distancia entre dos crestas consecutivas.
- **Frecuencia (ν):** número de ciclos por segundo (Hz).
- **Velocidad (c):** constante en el vacío ($\sim 300,000$ km/s). $c = \lambda/T = \lambda \cdot \nu$





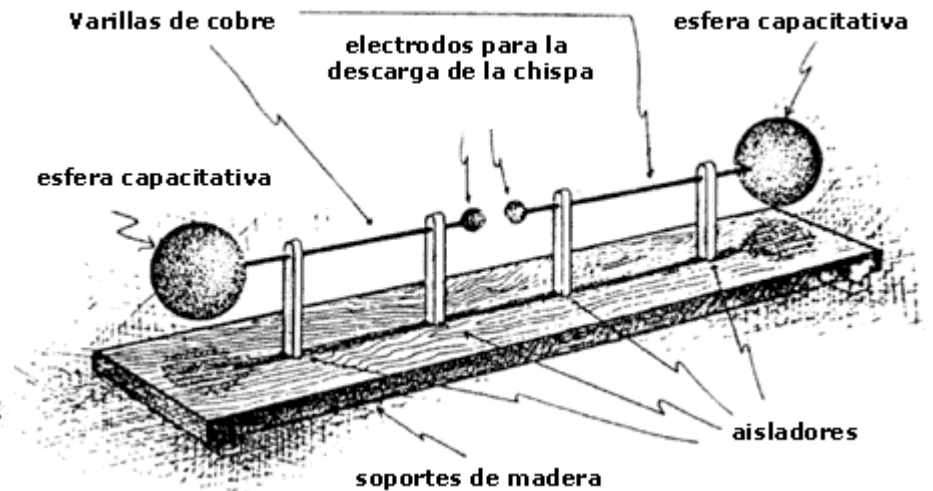
La luz como una partícula

EFFECTO FOTOELECTRICO



Efecto Fotoelectrico = Emisión de los electrones de un metal cuando incide sobre el metal una luz

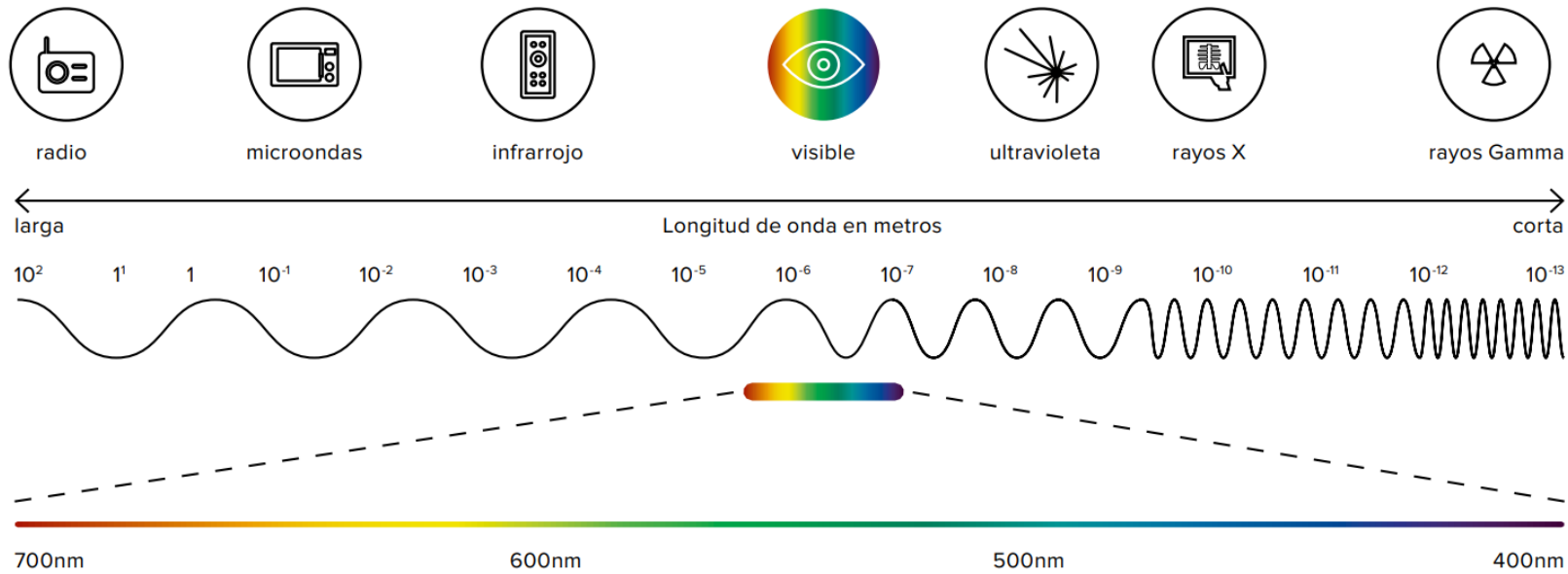
A finales del siglo XIX ni la física clásica, en concreto la teoría ondulatoria, no explicaba el efecto fotoeléctrico ni la radiación de un cuerpo negro.



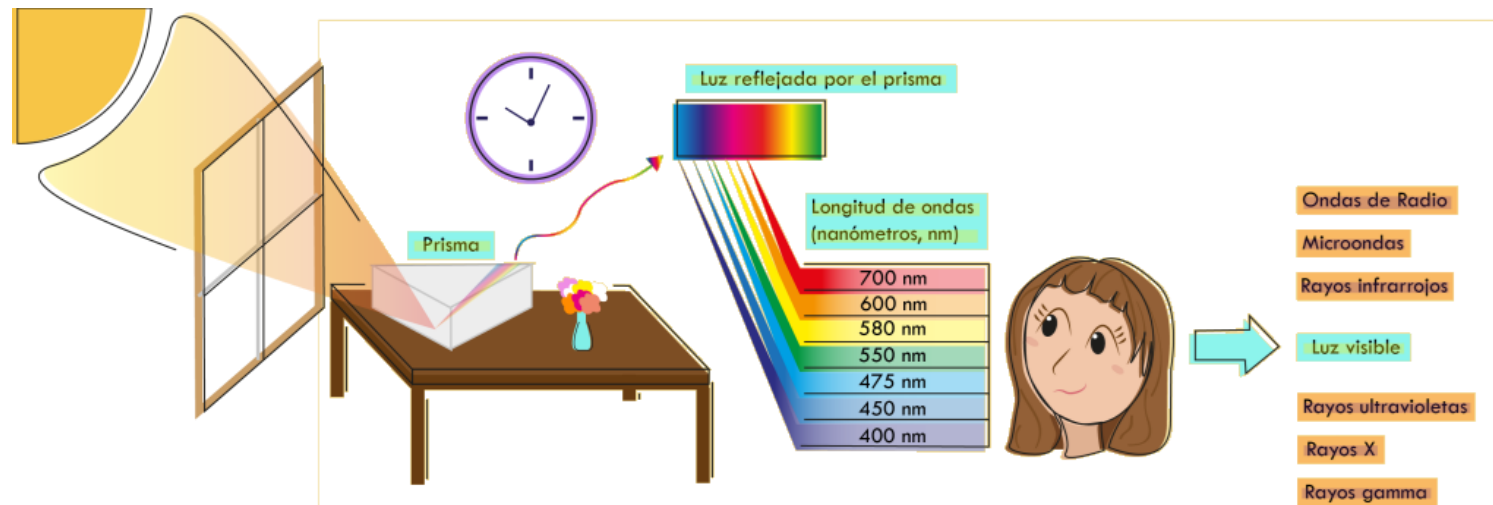
Heinrich Hertz (1887)

La emisión no depende solo de la intensidad de la luz, sino de su **longitud de onda**.

Espectro electromagnético



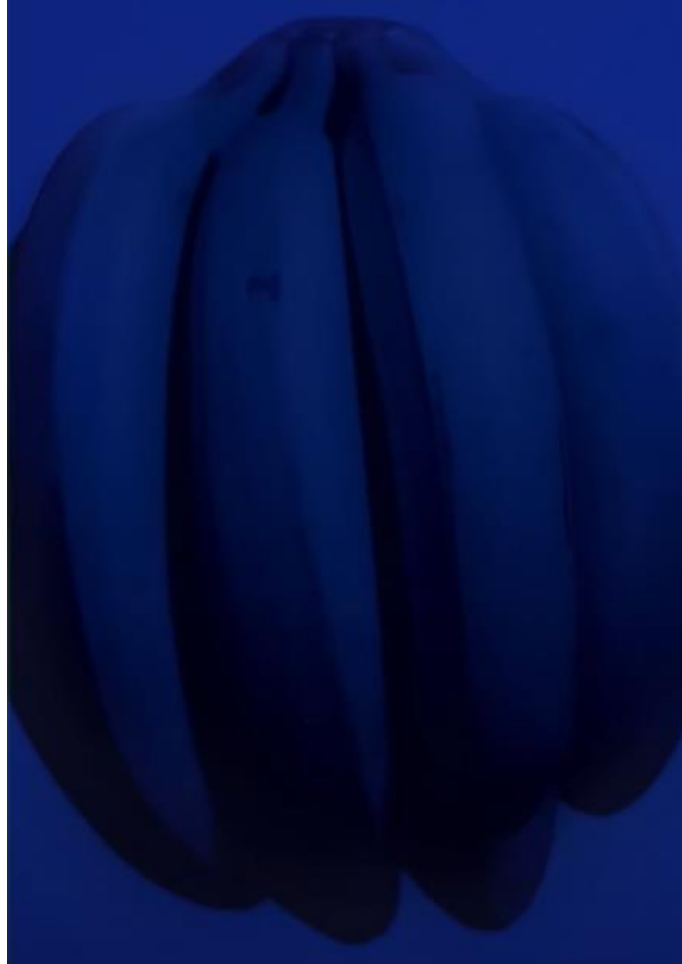
Se llama **espectro visible** a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir.



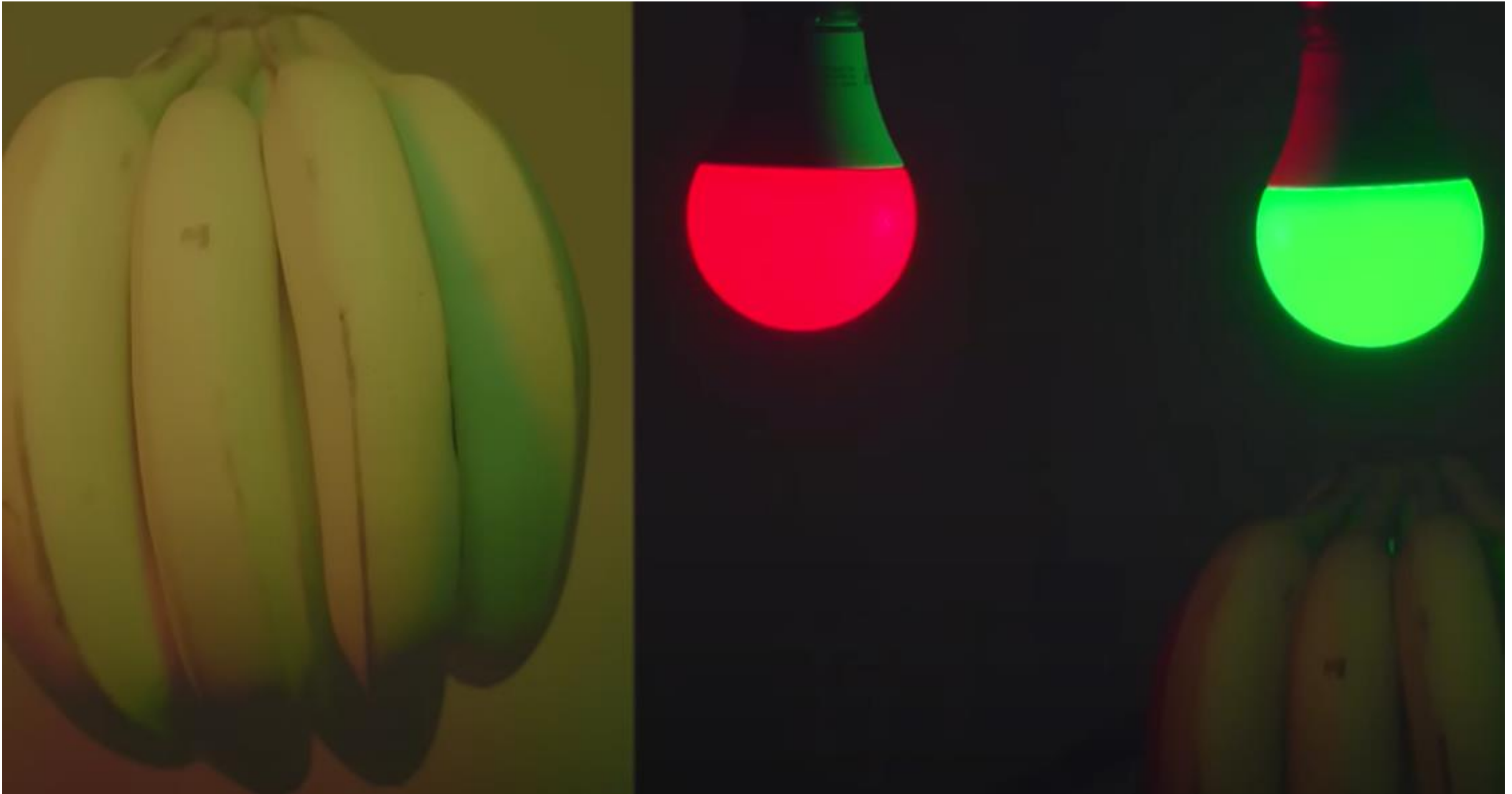
Colores



Colores



Colores



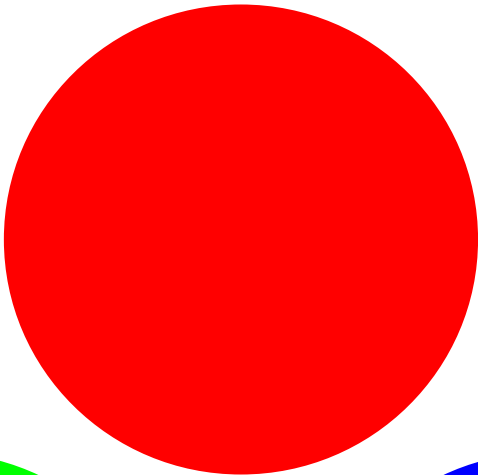
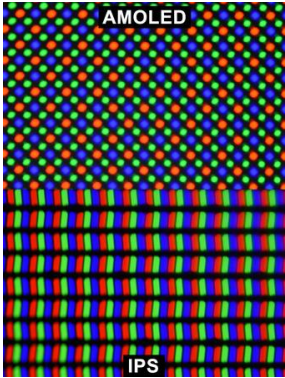
Simulación RGB

[Simulación sombras RGB](#)

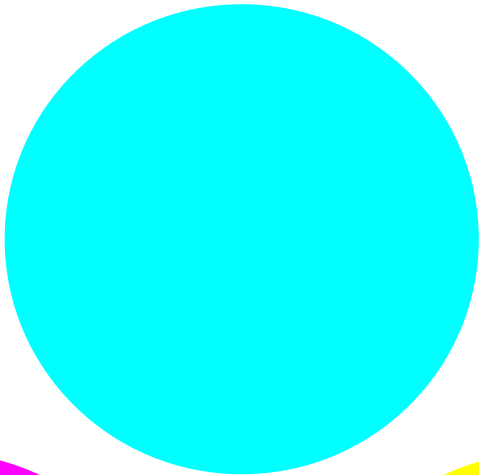
[Simulación filtros colores](#)

Colores

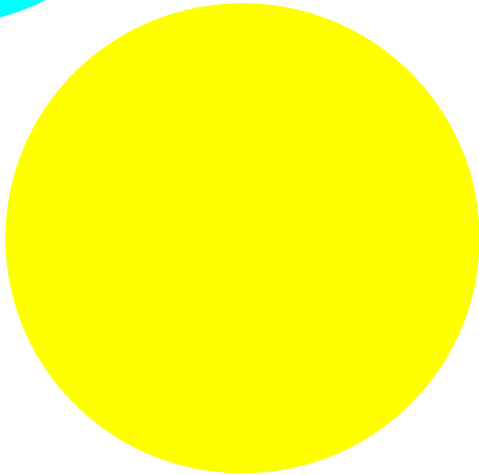
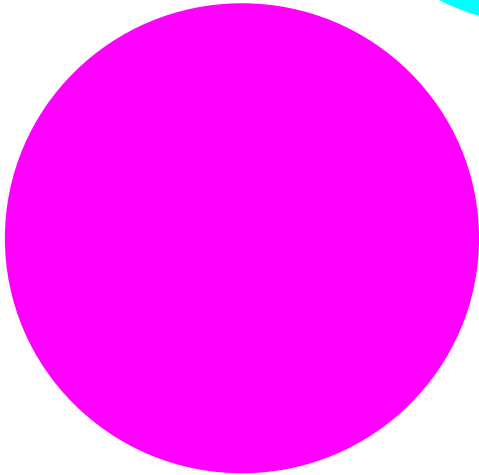
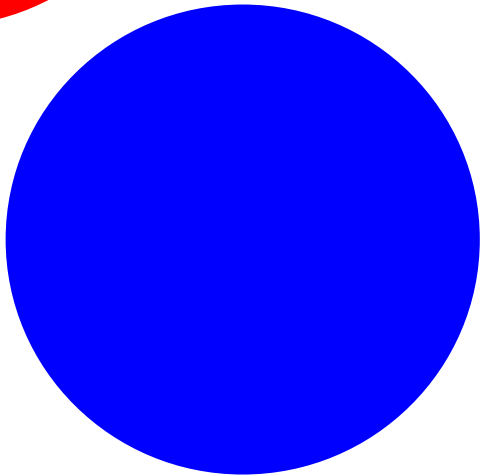
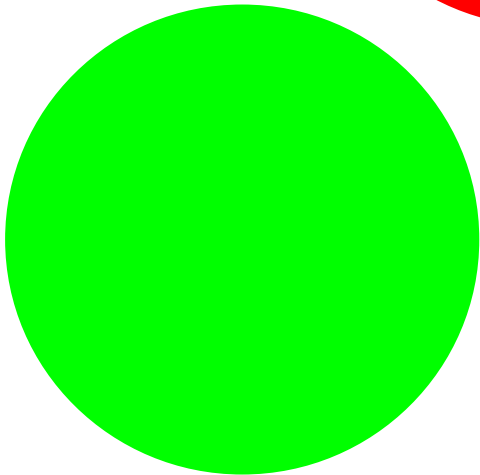
RGB



Colores Complementarios



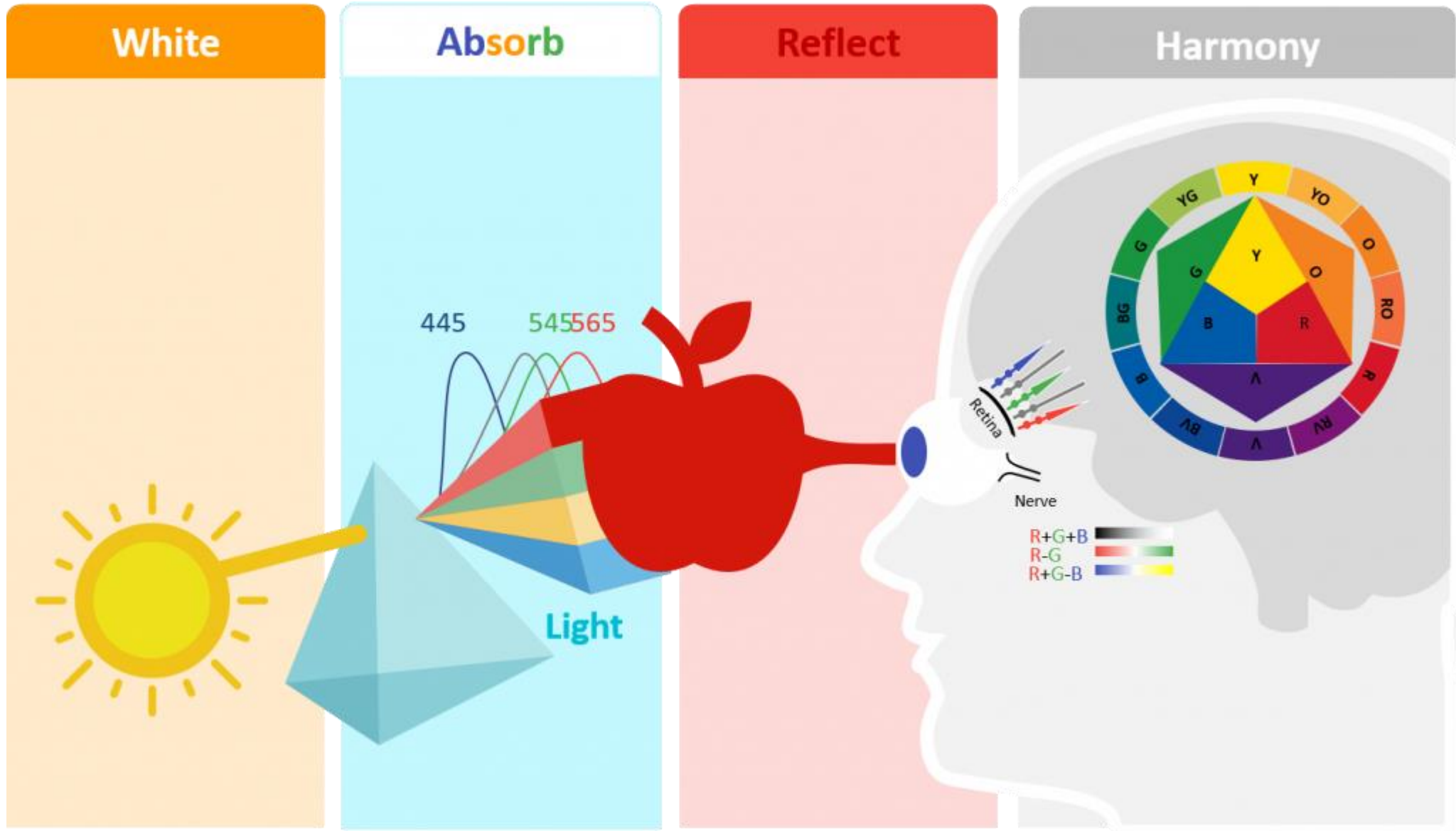
CMYK



Percepción del color



Percepción de los colores



Percepción del color

Los seres vivos tienen la capacidad de ver los colores de este mundo, pero... ¿acaso perciben lo mismo?

Bastones que no son para caminar y conos que no son de helado.

En los ojos existen células conocidas como fotorreceptores que se encuentran en la retina. Estos contienen pigmentos capaces de absorber la luz y reciben el nombre de bastones y conos.

BASTONES
Se van a encargar de la escala de los grises.

CONOS
Su trabajo será el de percibir los colores como tal.

¡Visión de humano!
Existen tres tipos de conos: los sensibles a la longitud de onda roja, la longitud de onda verde y la longitud de onda azul.

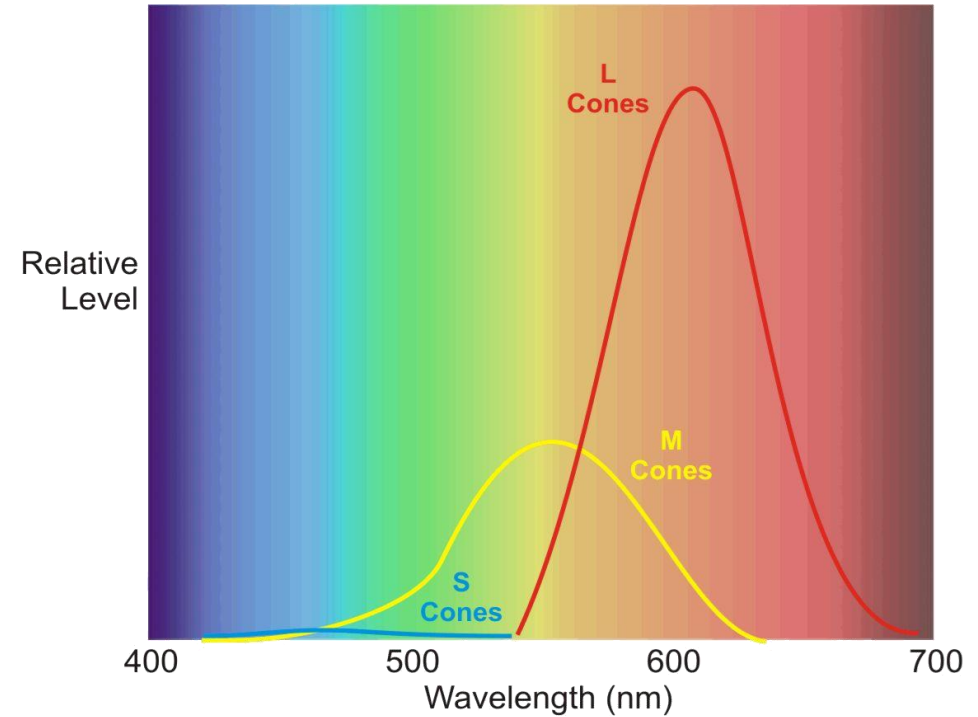
Suelen interactuar entre ellos para fabricar el resto de colores que percibimos, dándonos una **percepción tricromática**.

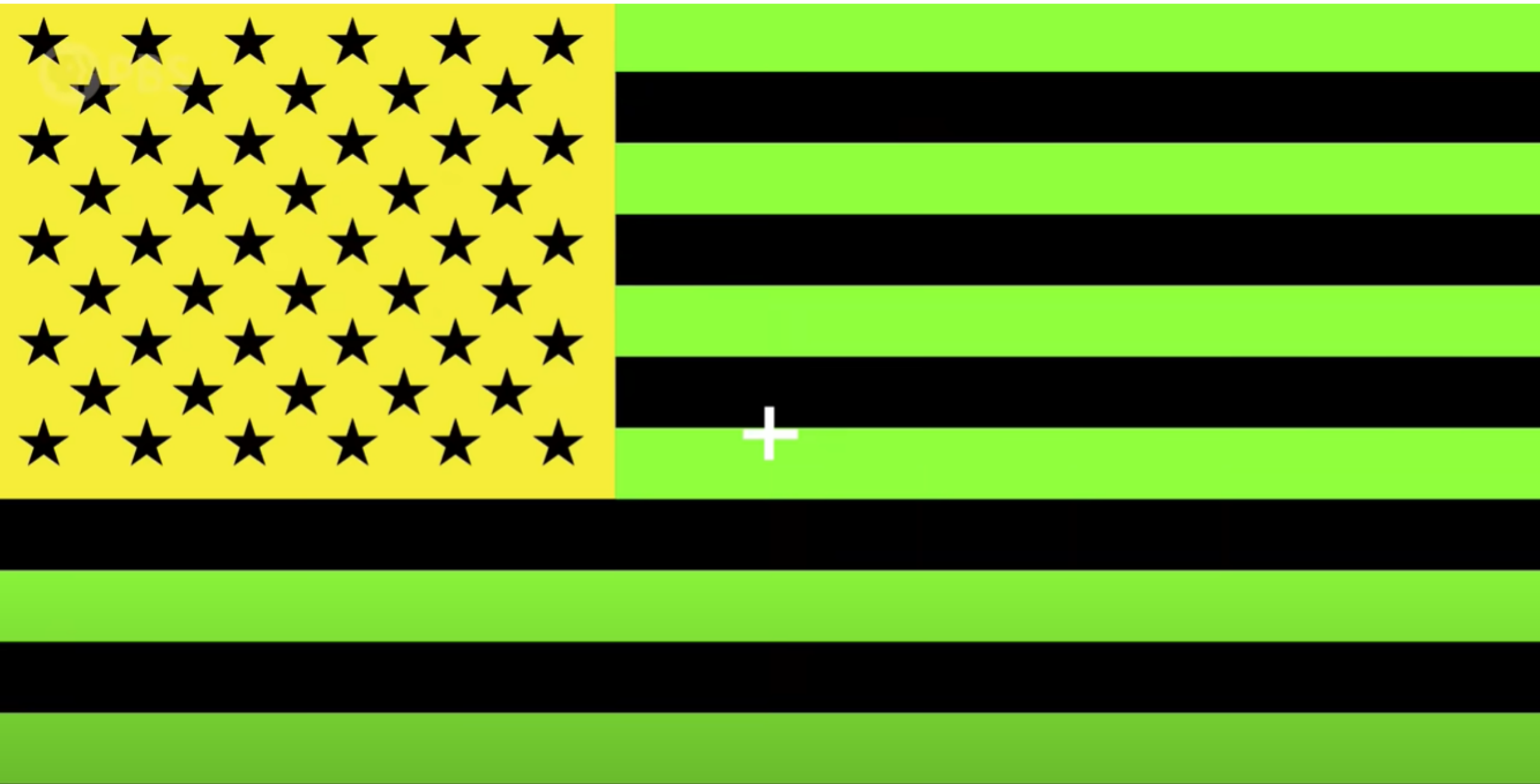
Siempre hay excepciones...
Hay seres humanos que no poseen o que tienen un mal funcionamiento de algunos conos, por lo que su percepción del espectro de color va a cambiar, a esto lo conocemos comúnmente como **"daltonismo"**.

¡No somos los únicos! Existen seres vivos que poseen percepciones **monocromáticas** como algunos tiburones, **dicromáticas** como los perros, e incluso **tetracromática** como algunos peces.

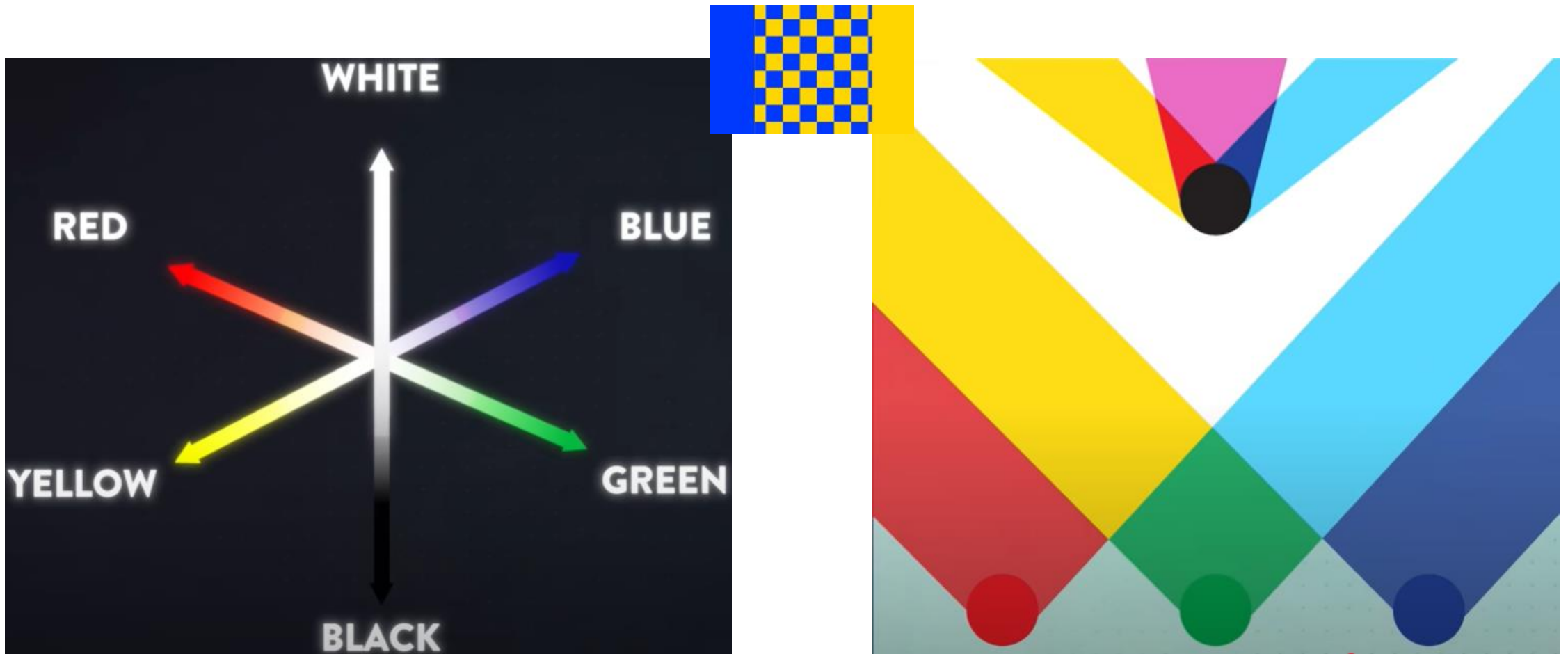
¡Cada ojo es un mundo!

FUENTES: Museo de la Luz, UNAMirada a la Ciencia





Colores

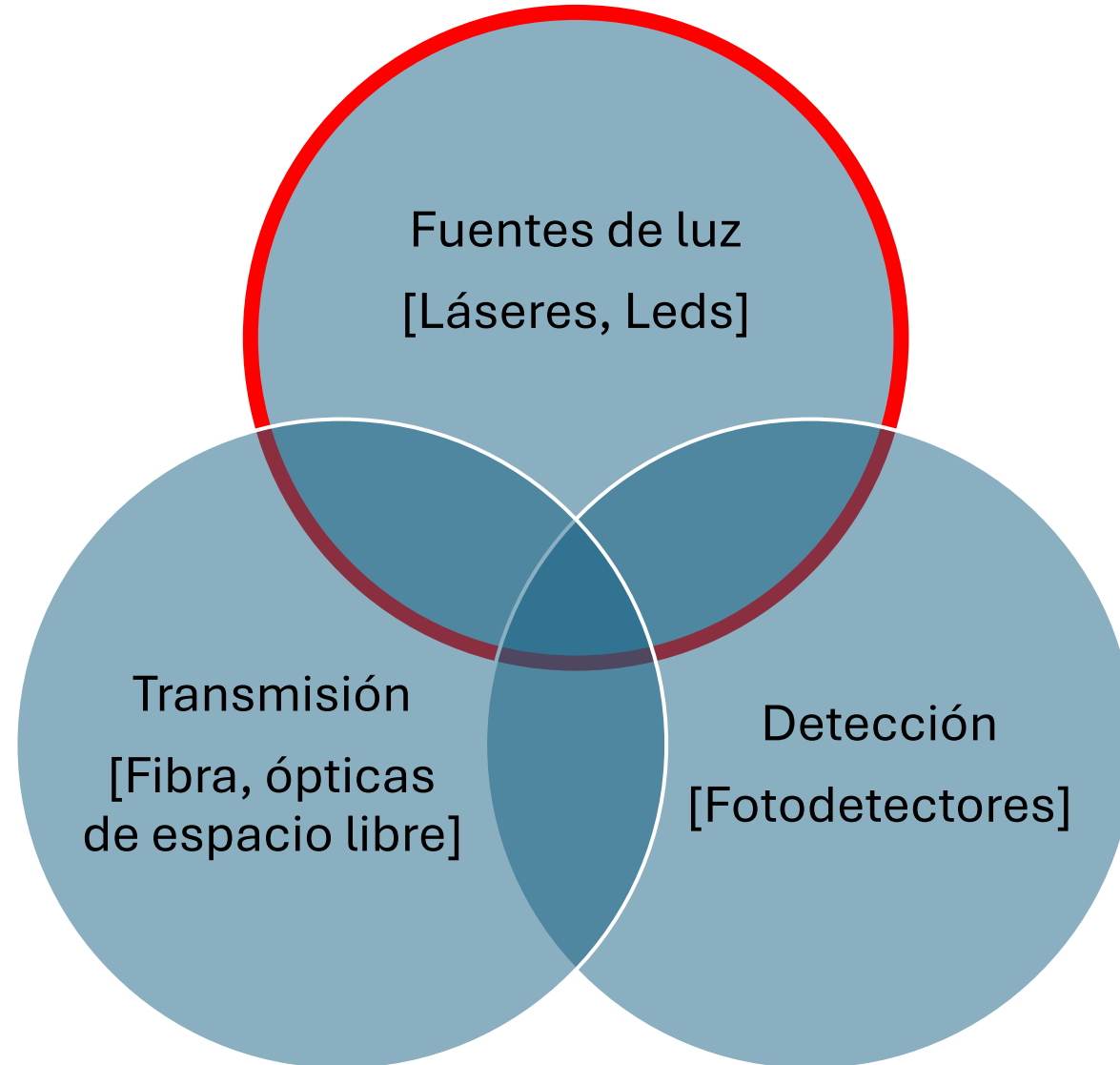


Simulación RGB

[Simulación sombras RGB](#)

[Simulación filtros colores](#)

Fuentes de luz



Fuentes de luz

Fuentes Naturales



Cualquier
objeto que
emite luz.

Fuentes Artificiales



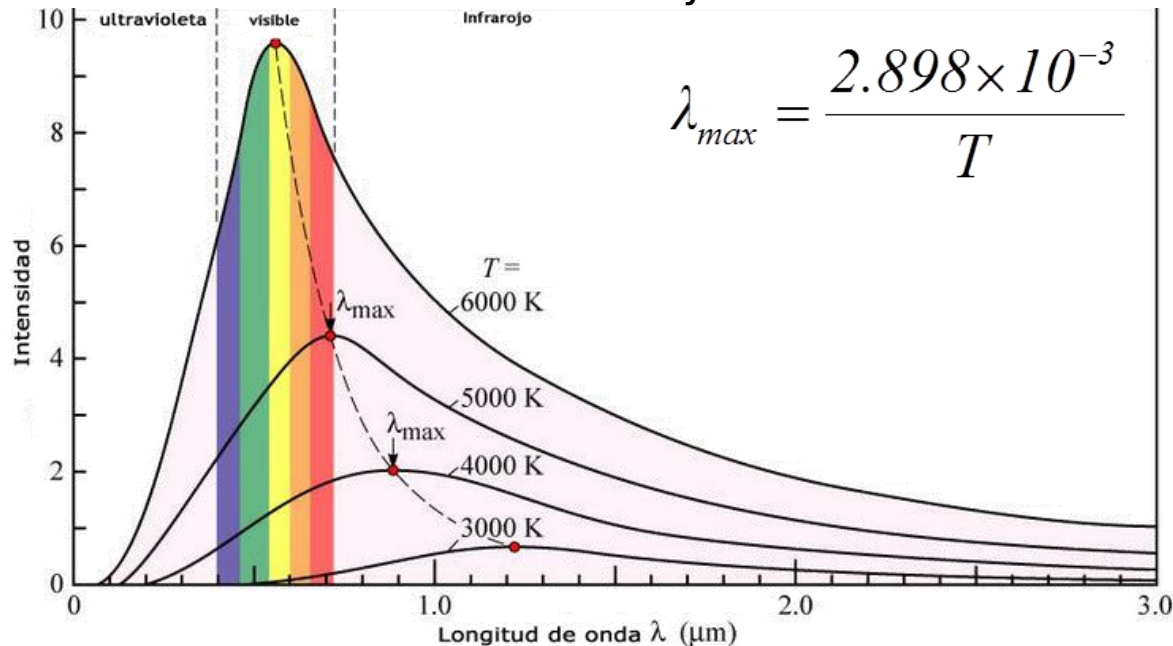
¿Cómo generar radiación electromagnética visible (luz)?

Emisión térmica o incandescencia

$T > 0 \text{ K}$ ➡ Emisión de energía en forma de radiación térmica.

Ley de Wien

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T}$$

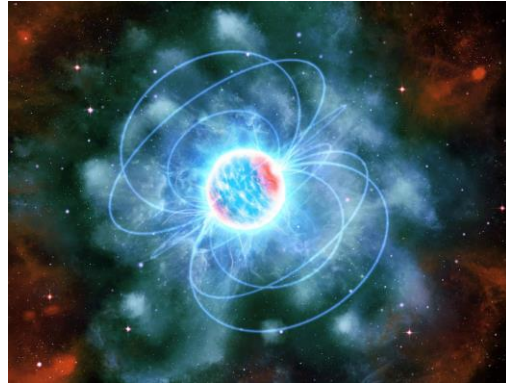


Luminiscencia

Fluorescencia
o en la
naturaleza

Emisión
atómica

¿Dónde observamos la emisión térmica?



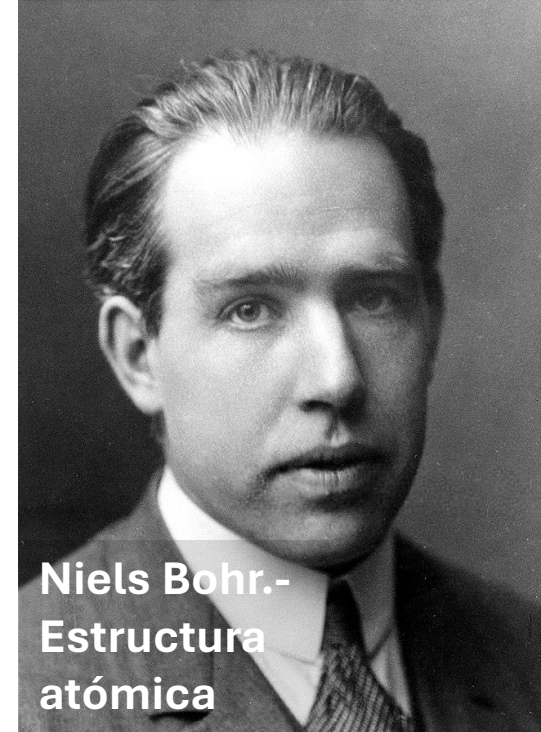
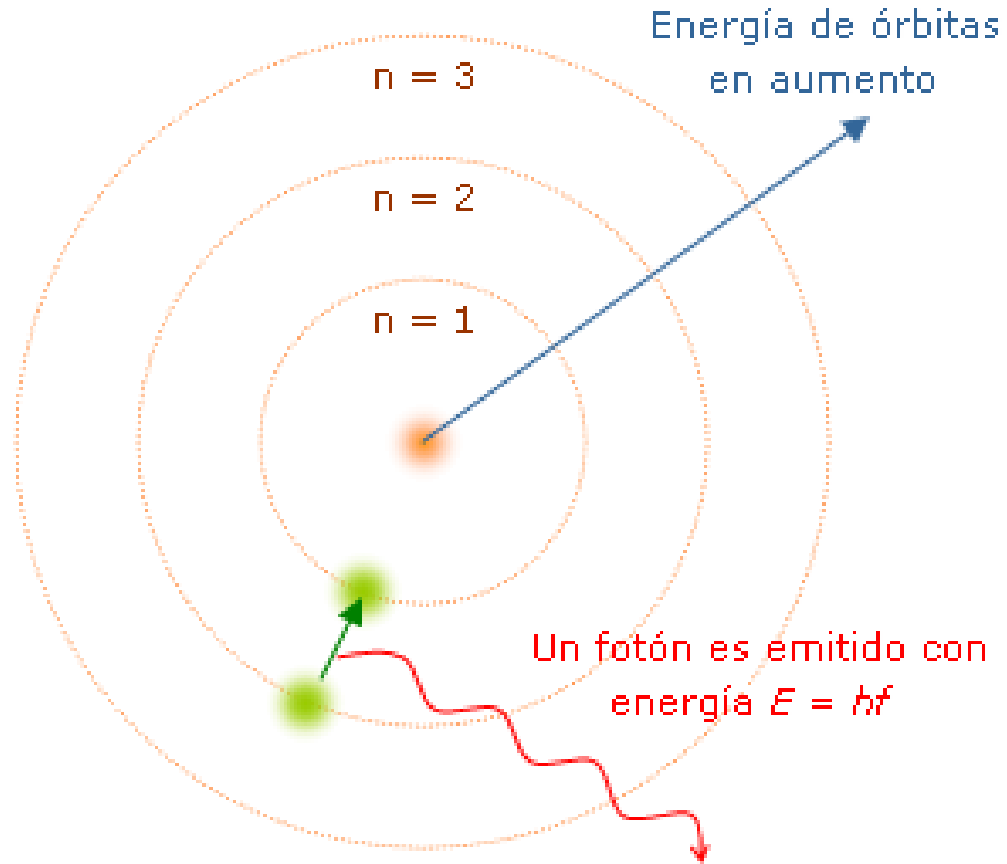
Cámara térmica



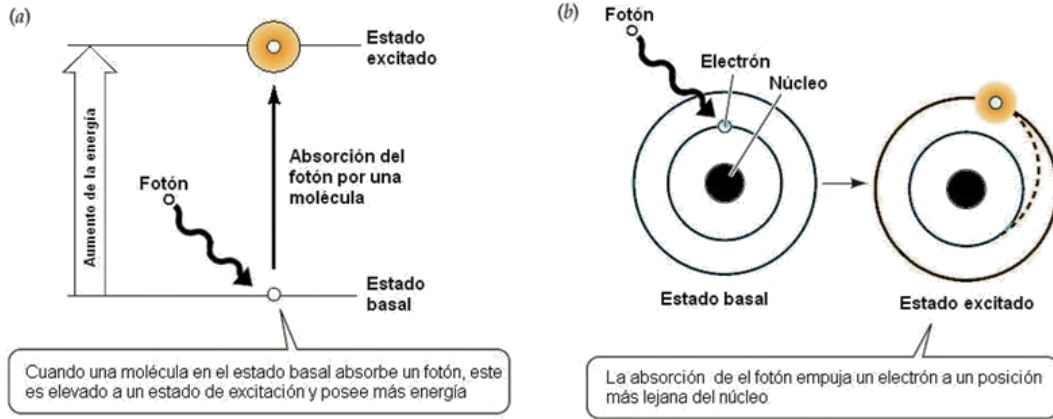
Emisión atómica y luminiscencia



$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$



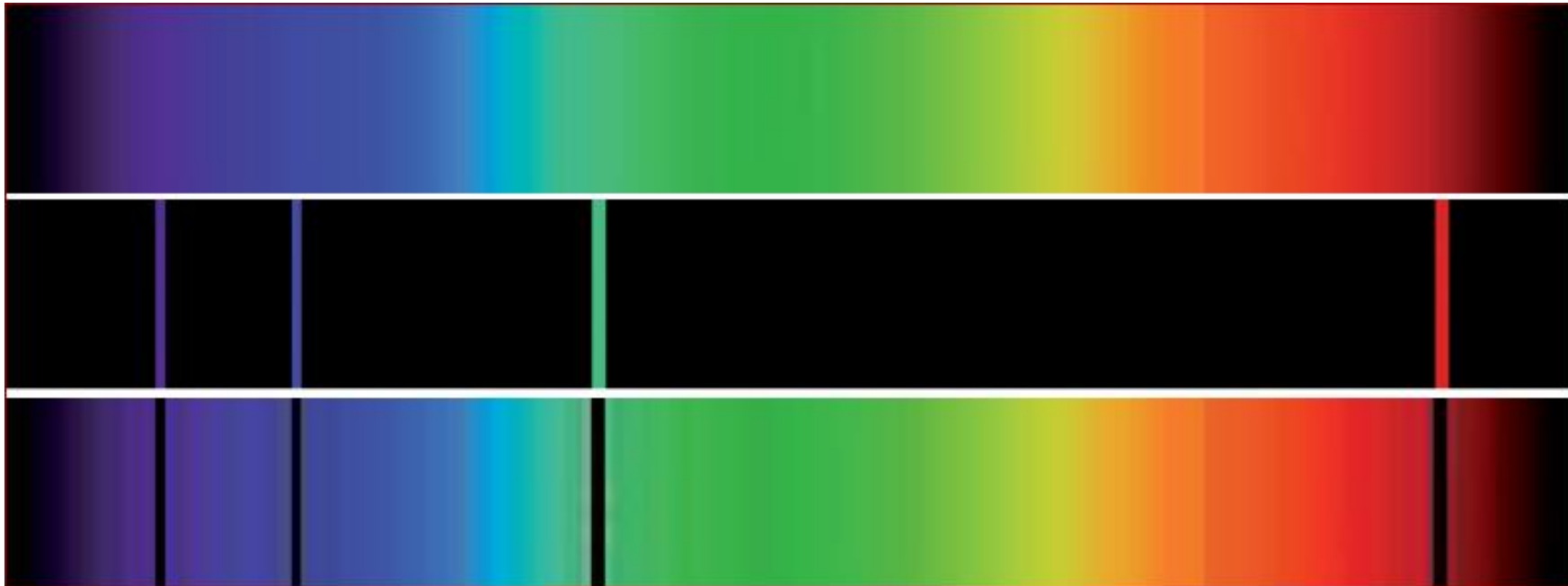
Emisión atómica y luminiscencia

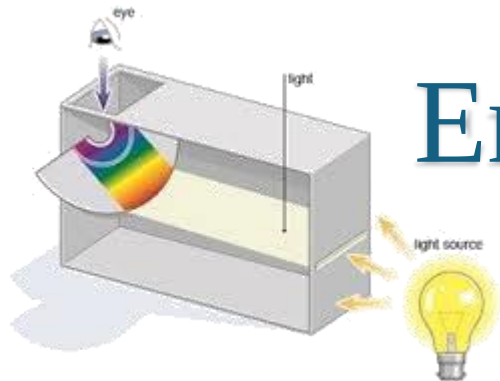


La luz no se produce como consecuencia de la estructura atómica y molecular y de las transiciones entre los diferentes niveles electrónicos.

**Espectro
emisión**

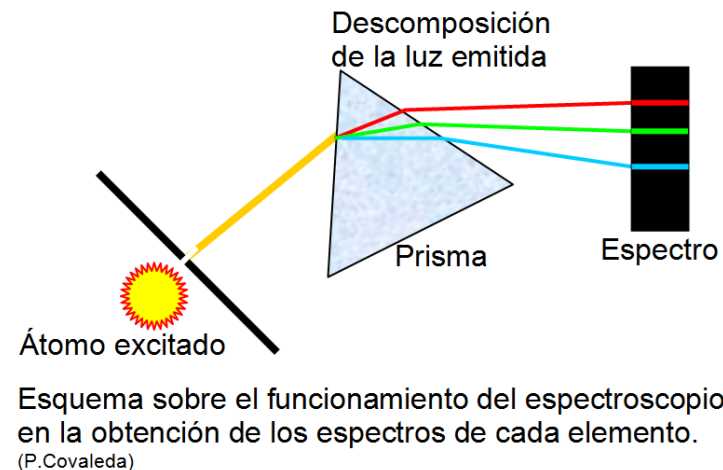
**Espectro
absorción**





Emisión atómica y luminiscencia

La **espectroscopia** utiliza la interacción entre la radiación electromagnética y los átomos para estudiar la estructura de los materiales basándose en su espectro de emisión o absorción.



Un espectroscopio hecho con una ranura en una pieza de cartón y un prisma (arriba) muestra la diferencia entre el espectro visible de una bombilla incandescente (medio) y una bombilla de bajo consumo que utiliza una descarga de arco (abajo).



Otros tipos de luminiscencia

Fotoluminiscencia: ocurre por la absorción de fotones, donde la energía desencadenante es electromagnética.

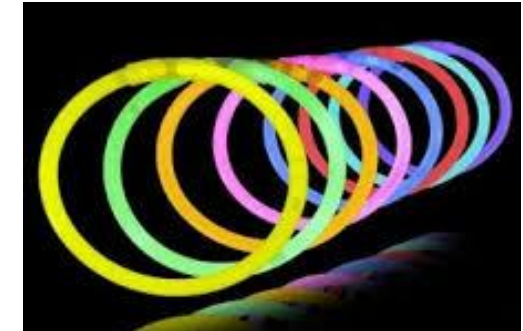
Fluorescencia: los fotones emitidos tienen menos energía que los absorbidos.



Fosforescencia: una fluorescencia retardada donde la emisión de luz continúa tras retirar la fuente de radiación.



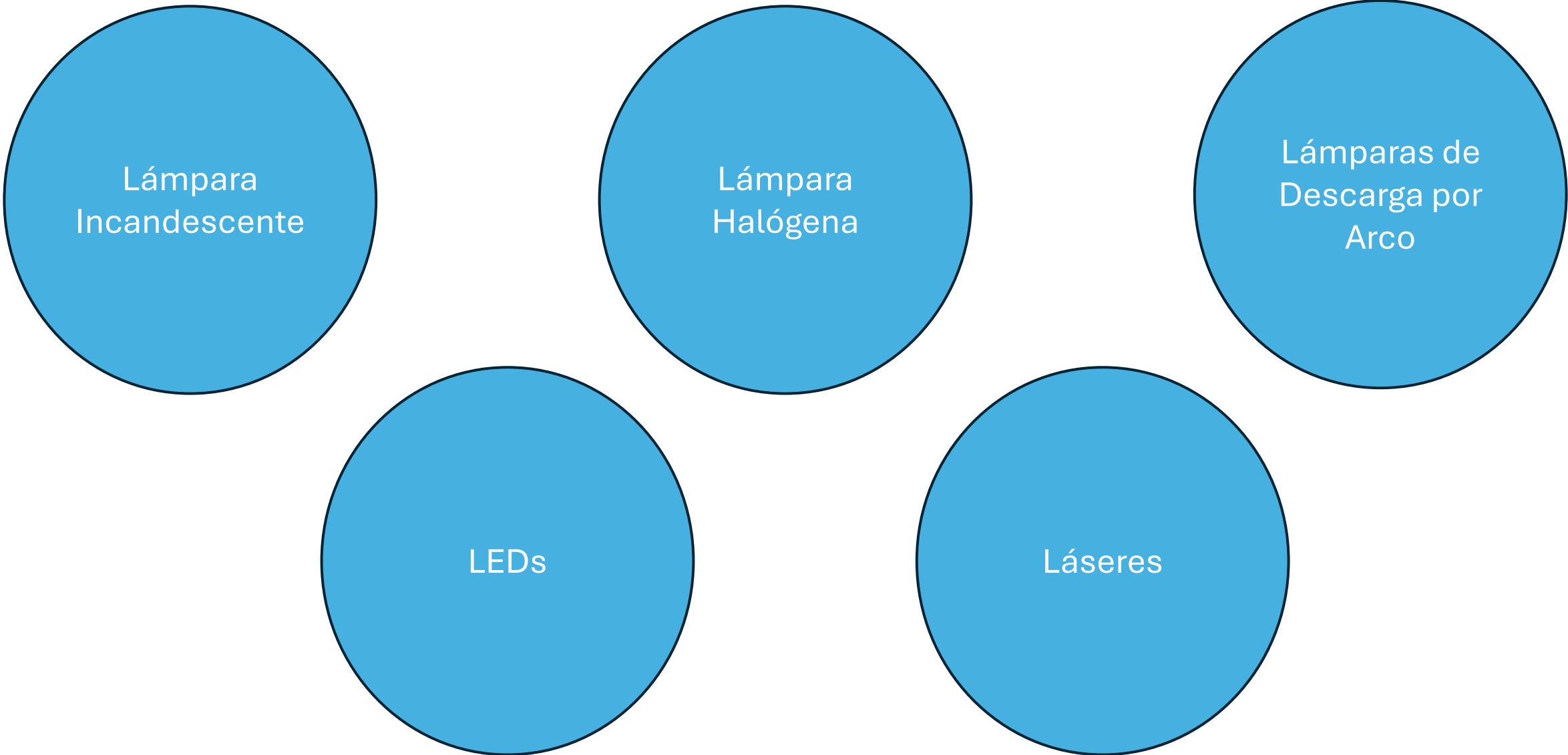
Quimioluminiscencia: luz emitida por la energía de una reacción química.



Electroluminiscencia: emisión de luz al pasar una corriente eléctrica por el material.



Generación de luz de fuentes artificiales



Lámpara
Incandescente

Lámpara
Halógena

Lámparas de
Descarga por
Arco

LEDs

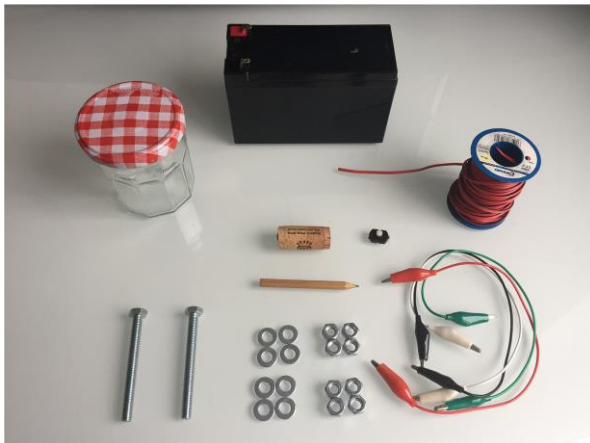
Láseres

Generación de luz de fuentes artificiales

Lámpara Incandescente

- **Funcionamiento:** Emisión térmica o incandescencia.
- **Composición:** Filamento de tungsteno dentro de una carcasa de vidrio con vacío o gas inerte para prolongar su vida útil.
- **Proceso:** La corriente eléctrica calienta el filamento, emitiendo luz visible e invisible (principalmente infrarroja).
- **Espectro de Emisión:** Continuo, equivalente a un cuerpo negro a 2,800 K (tonos anaranjados).

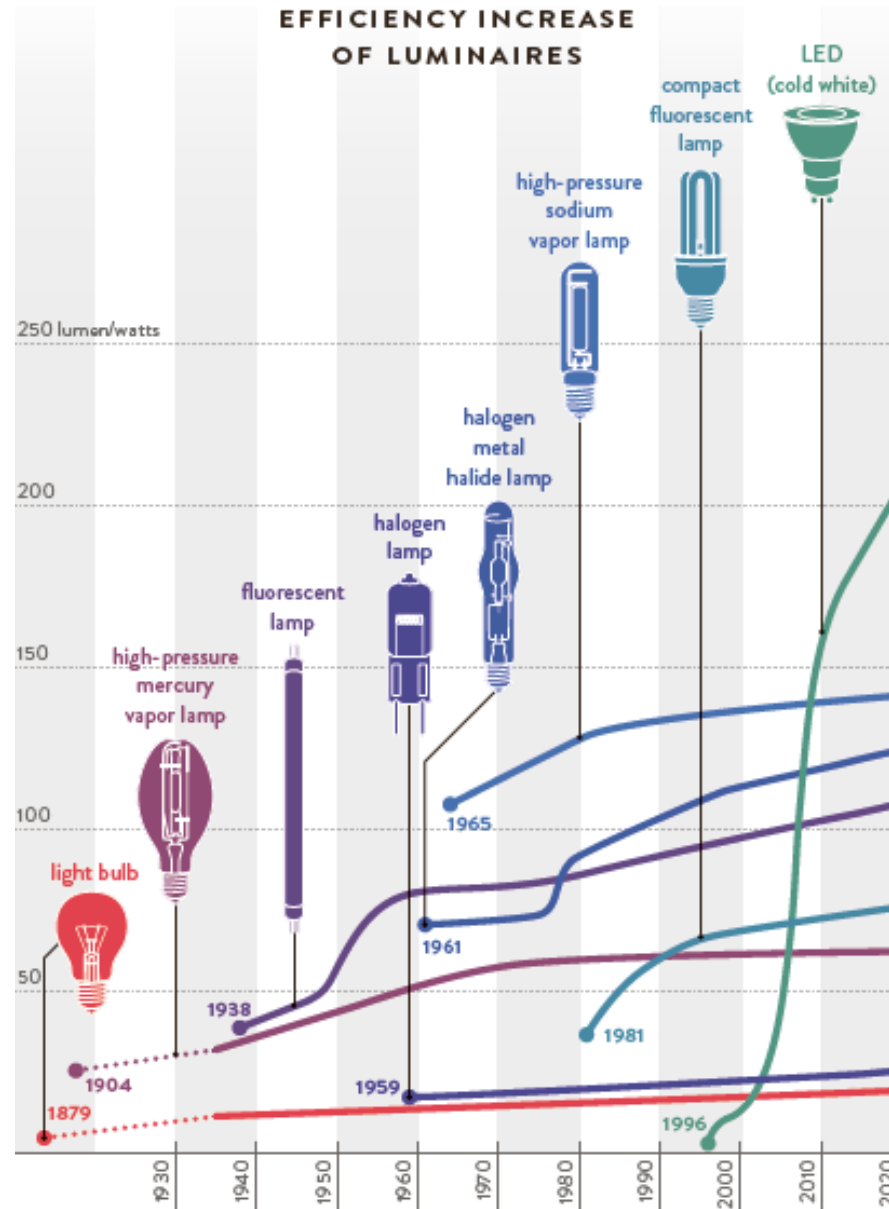
1. Preparar un **frasco hermético**: Comprobar su sellado calentándolo, cerrándolo con la tapa, y dejándolo enfriar.
2. **Perforar** la tapa: Hacer dos agujeros y fijar piezas de corcho con tornillos, sellándolos.
3. **Conectar el filamento**: Enrollar cables a los tornillos y sujetar una mina de lápiz como filamento.
4. **Limpiar** el filamento: Pasarlo por una llama para eliminar residuos.
5. **Montar** el sistema: Colocar una vela encendida en el frasco, cerrarlo, y esperar a que se apague.
6. **Probar** el dispositivo: Conectar batería y filamento con clips.



Generación de luz de fuentes artificiales

Lámpara Halógena

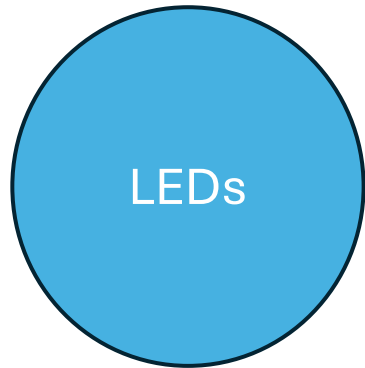
- **Funcionamiento:** Similar a las lámparas incandescentes.
- **Temperatura:** Alcanzan temperaturas más altas (3,000–3,100 K).
- **Composición:** Contienen gas halógeno presurizado (yodo o bromo).
- **Luz Emitida:** Luz más blanca (menos amarilla).



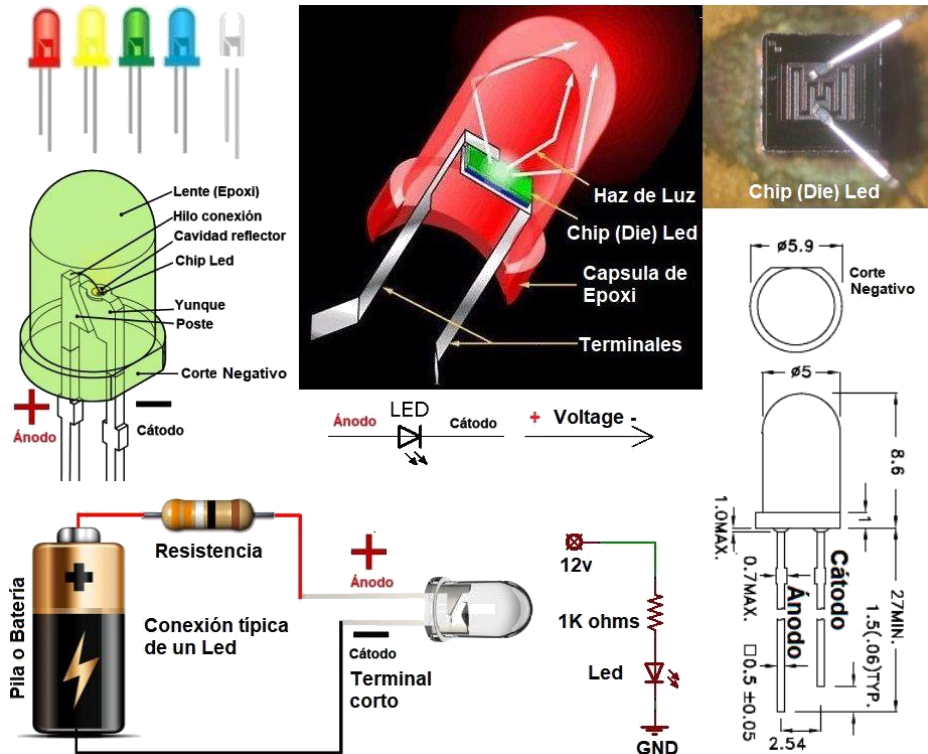
Lámparas de Descarga por Arco

- **Composición:** Tubo fluorescente lleno de gas entre dos electrodos.
- **Proceso:** La descarga de los electrodos excita los átomos de gas (vapor de mercurio), emitiendo luz UV.
- **Material Fluorescente:** Absorbe UV y emite luz visible.
- **Variación de Color:** Depende del tipo de gas y su presión.

Generación de luz de fuentes artificiales



- **Funcionamiento:** Emisión de radiación mediante electroluminiscencia.
- **Composición:** Diodos semiconductores que transforman la corriente eléctrica en radiación sin aumentar significativamente la temperatura.
- **Características:**
 - Componente electrónico con dos terminales que permiten el flujo de electricidad en una sola dirección.
 - Emisión de energía en forma de radiación IR, UV o visible, según el material del LED.



- **Espectro de Emisión:** Relacionado con las diferencias de energía entre los niveles del material principal y su estructura electrónica.
- **Luz Blanca:**
 - Combinación de LEDs rojos, verdes y azules (o rojos, azules y amarillos).
 - Uso de LEDs que emiten UV con una cubierta de material fluorescente.

Generación de luz de fuentes artificiales

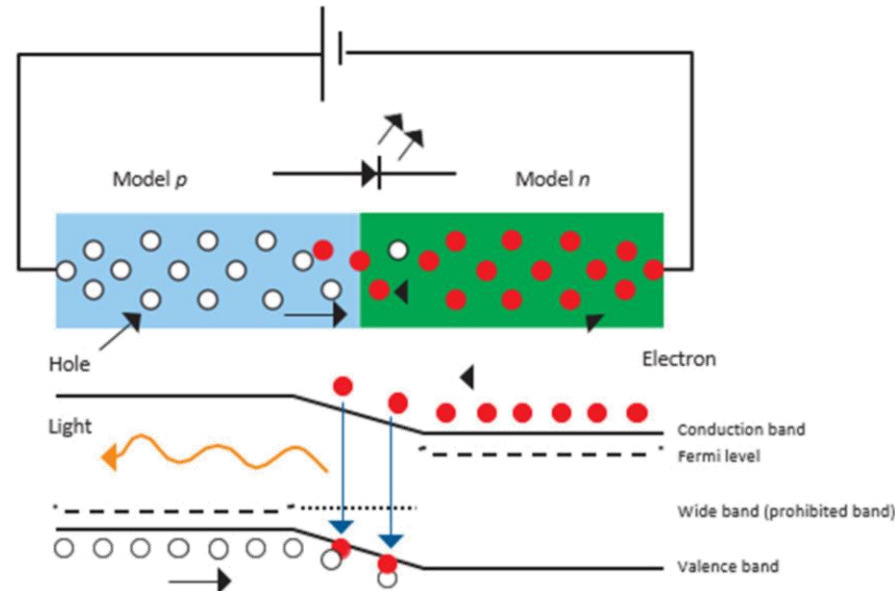
Experimento
con LEDs

Fenómeno: Los LEDs reaccionan a cambios de luz (fotoconductividad).

El Arduino mide y traduce estas variaciones para iluminar LEDs correspondientes.

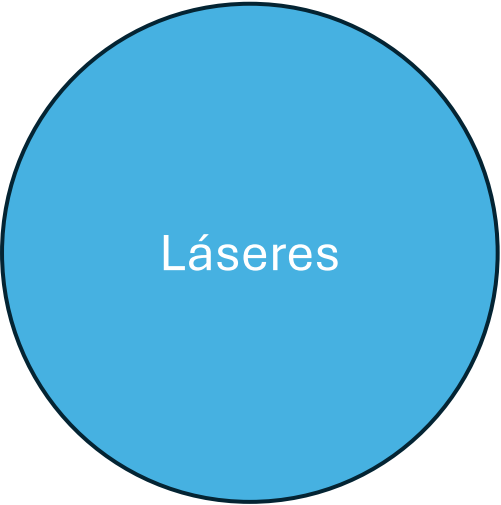
Materiales:

- ❑ Arduino Uno
- ❑ LEDs: 3 sensores (infrarrojos, rojos o amarillos) y 3 indicadores (luz visible)
- ❑ Resistencias: 3 de 300-350 Ohm
- ❑ Breadboard, cables, USB, y software Arduino IDE



1. Conecta el riel negativo del breadboard al pin GND del Arduino.
2. Conecta los LEDs indicadores a los pines en una de las conexiones. 9, 10, 11 en el Arduino, usando una resistencia
3. Conecta los cables de los LEDs indicadores a los pines 9, 10, 11.
4. Conecta los LEDs sensores a los pines 2 a 7 del Arduino.
5. Programa el Arduino utilizando el script proporcionado.
6. Verifica que al pasar un dedo sobre los LEDs sensores, los indicadores se enciendan.

Generación de luz de fuentes artificiales (Láser)

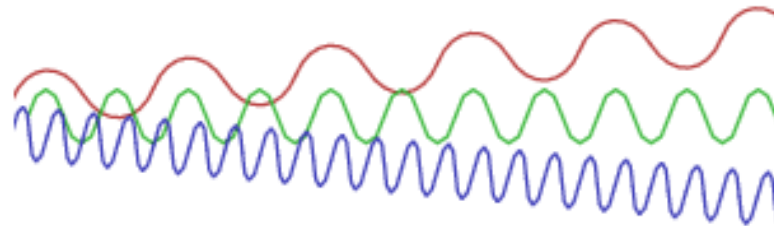


Láseres

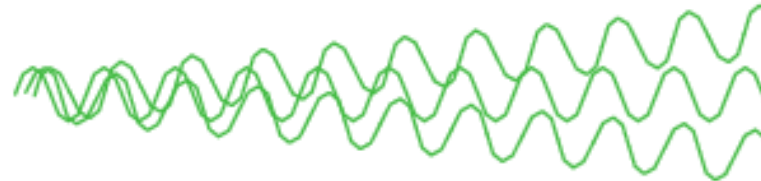
Características del láser:

- **Monocromáticos:** Emiten prácticamente una sola longitud de onda (un solo color).
- **Colimados:** Son altamente direccionales y concentrados.
- **Coherentes:** Facilitan la observación de fenómenos de onda como la interferencia y la difracción.

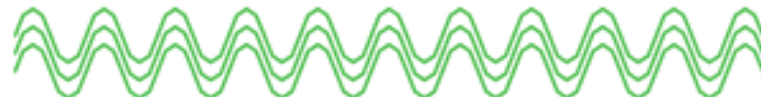
LUZ
BLANCA



LUZ
MONOCROMÁTICA



LUZ
COHERENTE



Generación de luz de fuentes artificiales (Láser)

Láseres

1

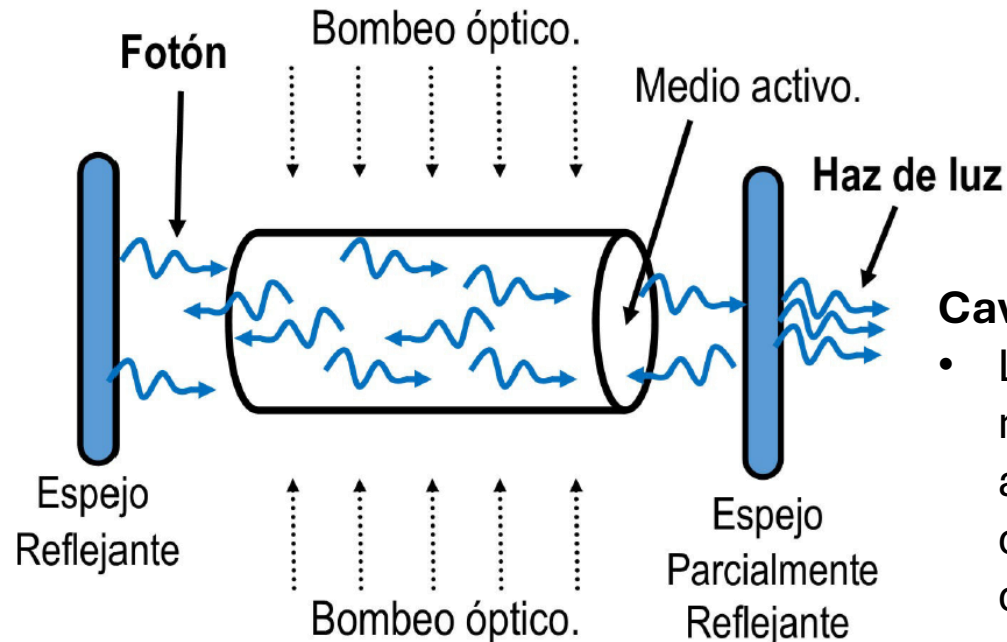
Emisión Estimulada:

- El medio activo (gas, líquido o sólido) es excitado por un sistema de bombeo (luz o electricidad), elevando electrones a niveles de energía superiores.
- Los electrones excitados regresan a su nivel inicial emitiendo fotones.

2

Multiplicación de Fotones:

- Los fotones liberados pueden estimular a otros electrones excitados para liberar fotones idénticos (misma energía, frecuencia, fase y dirección).

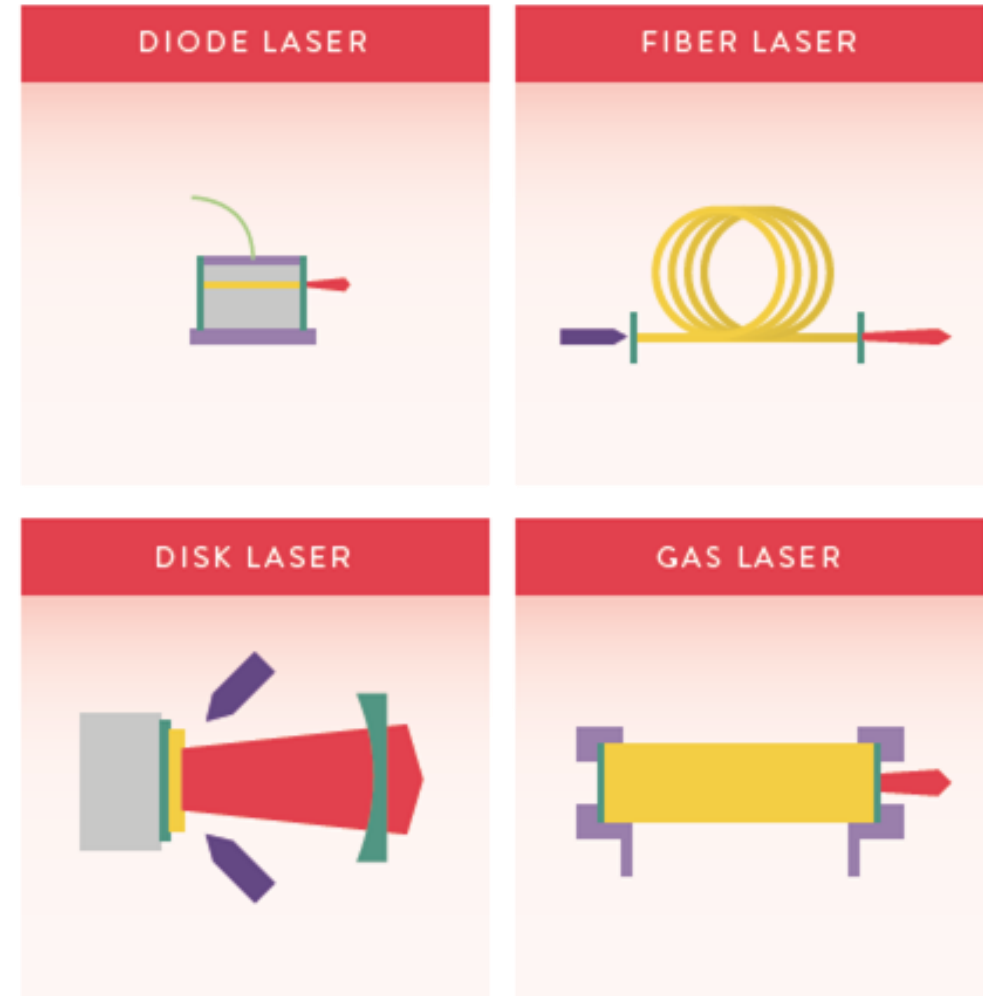
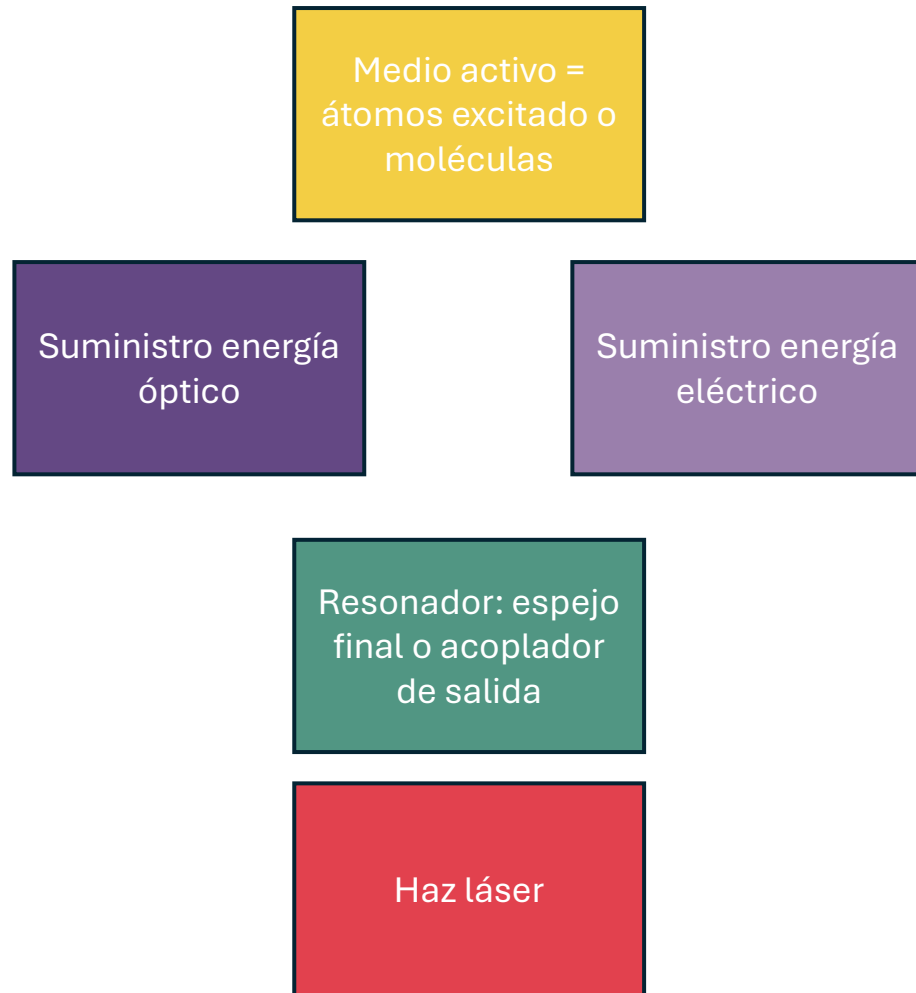


3

Cavidad Óptica:

- Los fotones rebotan repetidamente en la cavidad, aumentando la emisión y creando un haz concentrado y coherente.

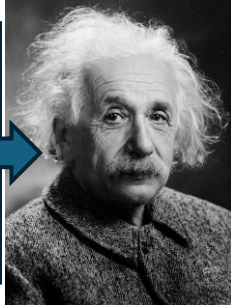
Generación de luz de fuentes artificiales (Tipos de Láser)



Generación de luz de fuentes artificiales

(Historia Láser)

1
9
1
7



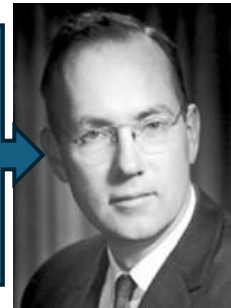
Einstein sienta las bases para la tecnología del láser cuando predice el fenómeno de emisión estimulada.

1
9
3
9



V. Fabrikant teoriza el uso de la emisión estimulada para amplificar la radiación.

1
9
3
9



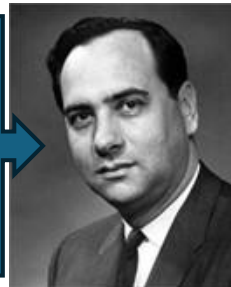
C. Townes, N. Basov y A Prokhorov desarrollan la teoría cuántica de emisión estimulada y demuestran la emisión estimulada en el microondas.

1
9
5
9



G. Gould propone que la emisión estimulada se puede usar para amplificar la luz. Describe un resonador óptico que puede crear un haz angosto de luz coherente y lo llama LASER (*light amplification by stimulated emission of radiation*)

1
9
6
0

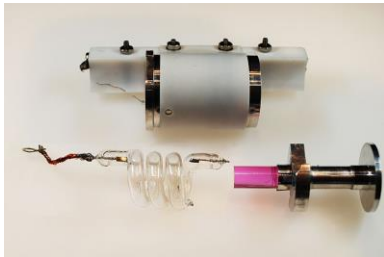


T. Mainman construye el primer prototipo. Este láser usa rubí sintético como medio activo y emite un haz de luz de color rojo profundo (694nm).

1
9
6
3



K. Patel desarrolló el láser de CO₂ en AT&T Bell. Menor coste.



¿Qué es una fuente de luz?

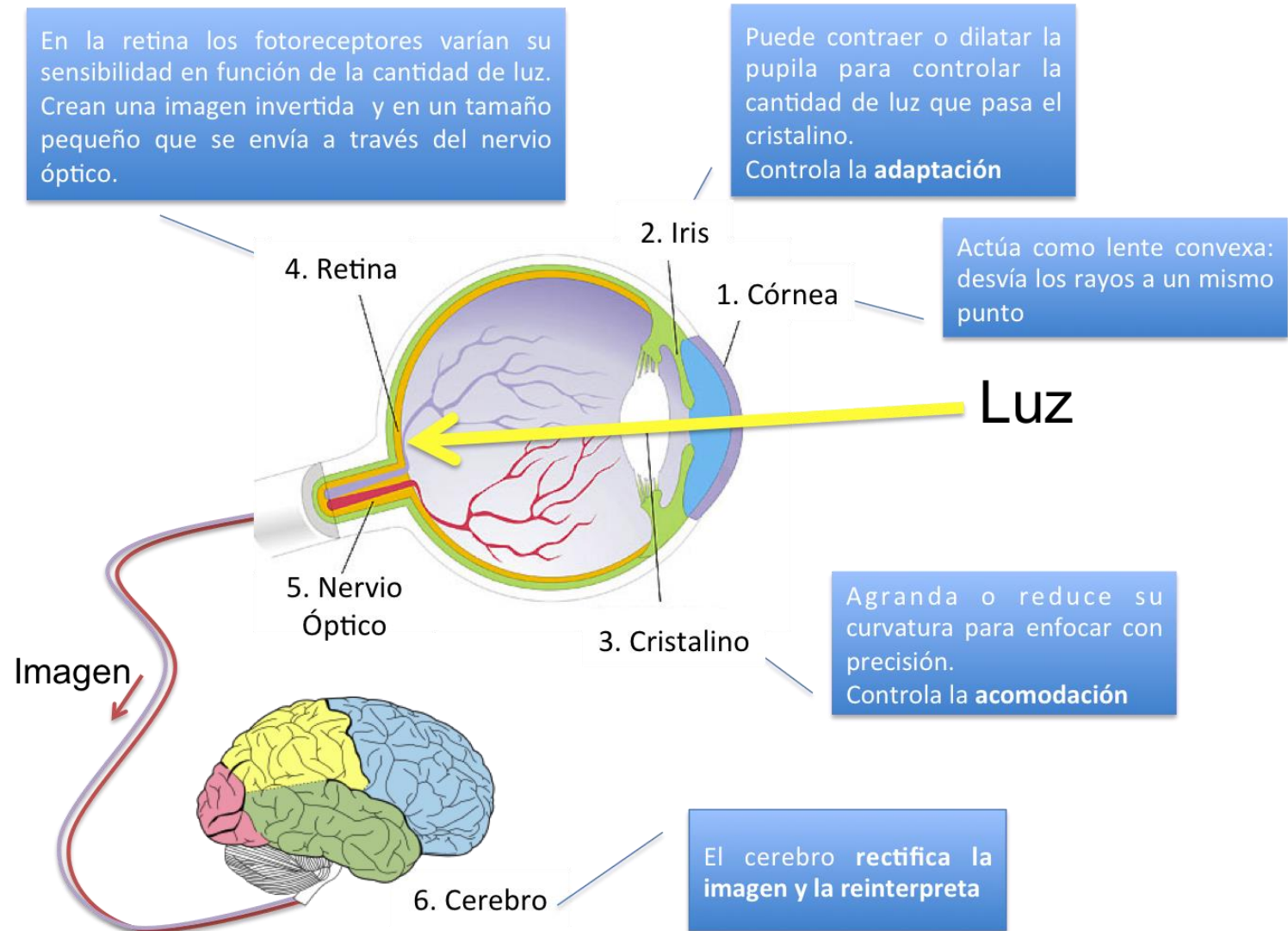
Un objeto que emite radiación electromagnética.

Radiometría: Estudia TODA la radiación electromagnética.

Fotometría: Estudia TODA la radiación electromagnética.

Sensibilidad del ojo:

- Máxima en verde (555 nm)
- Menor en azul (400 nm) y rojo (700 nm)



¿Qué es una fuente de luz?

Potencia radiante (W):

Energía total emitida.

Flujo luminoso (lm):

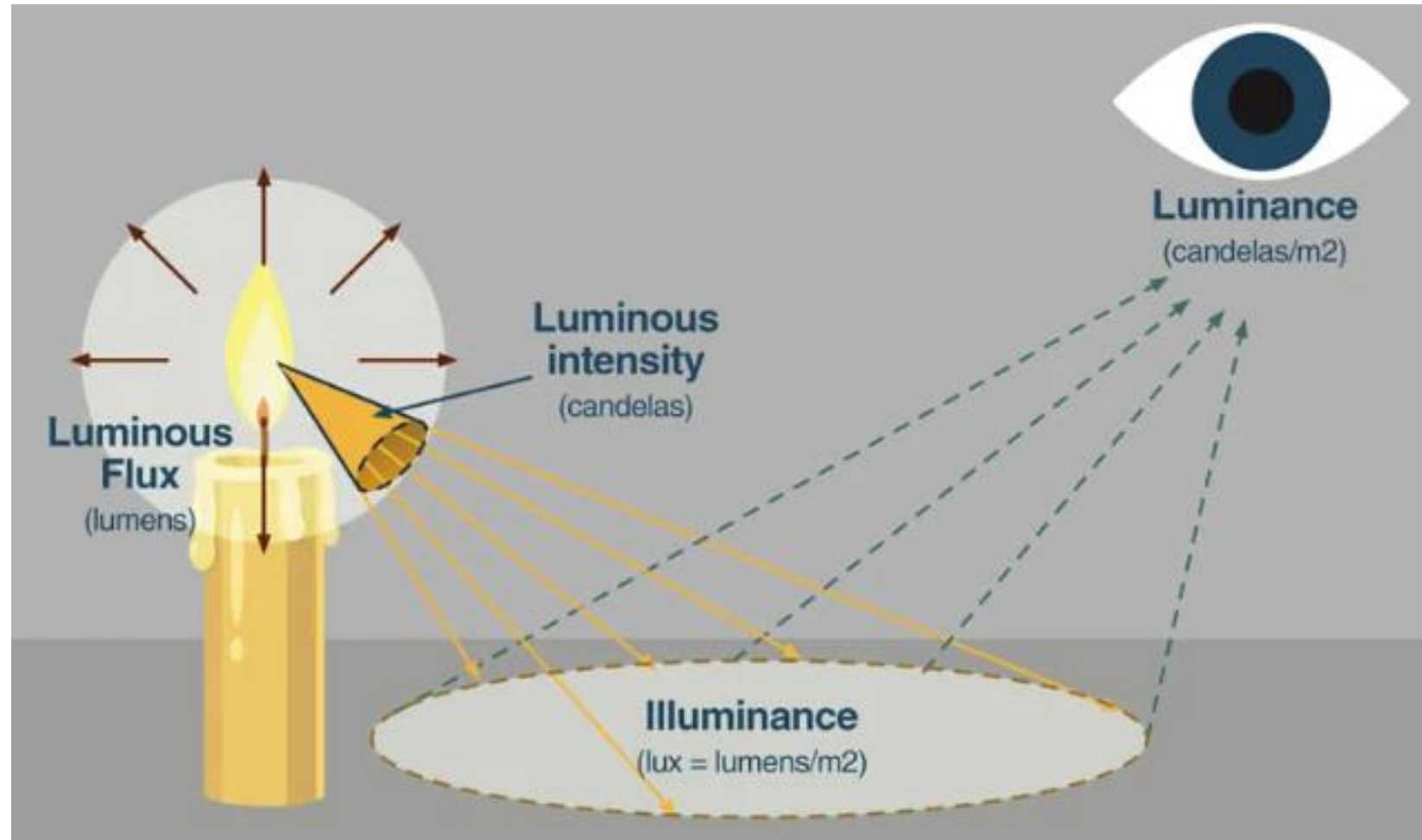
Cantidad de luz visible percibida.

Eficiencia luminosa (lm/W):

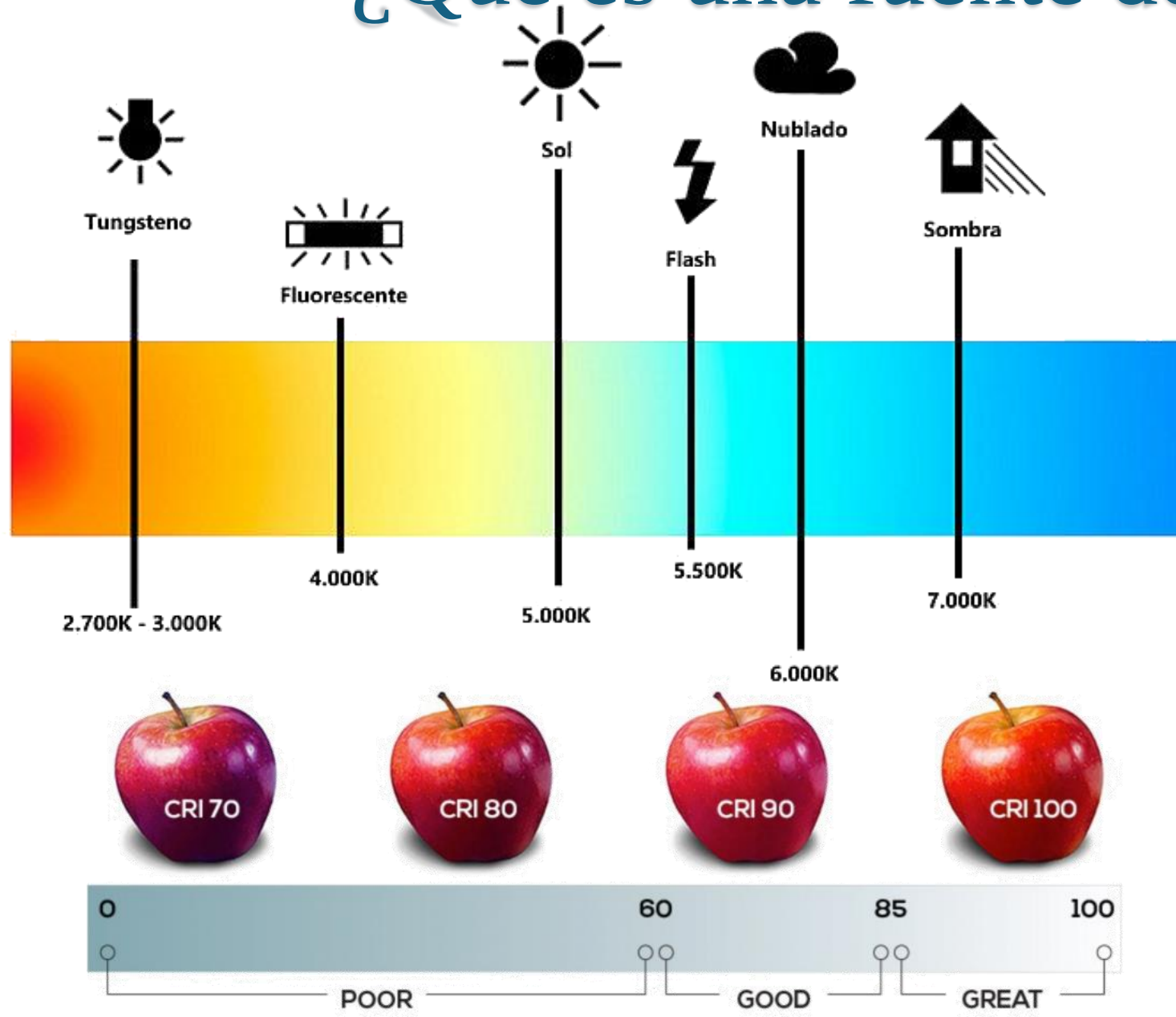
Relación entre energía y luz visible.

Irradiancia (W/m^2):

Energía radiante recibida por unidad de área.



¿Qué es una fuente de luz?



Temperatura de color (K):
indica el equilibrio de longitudes de onda visibles emitidas por una fuente de luz.

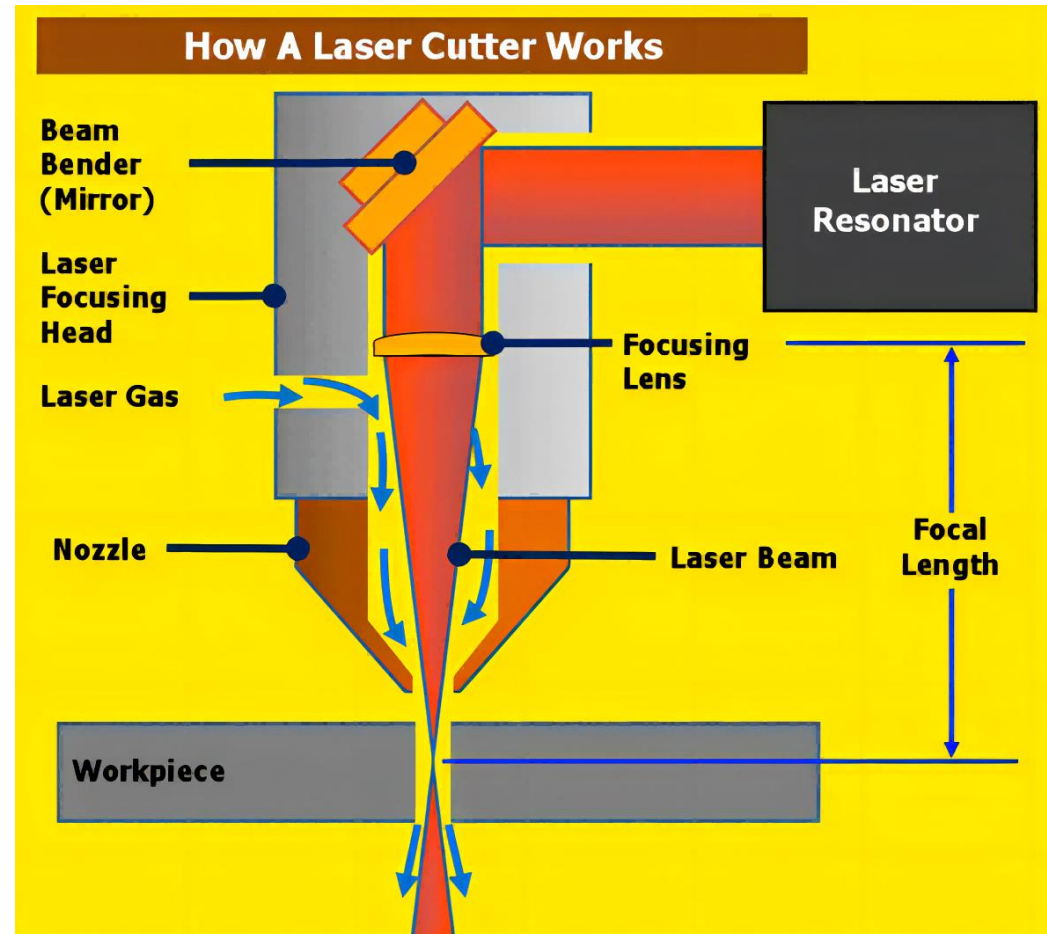
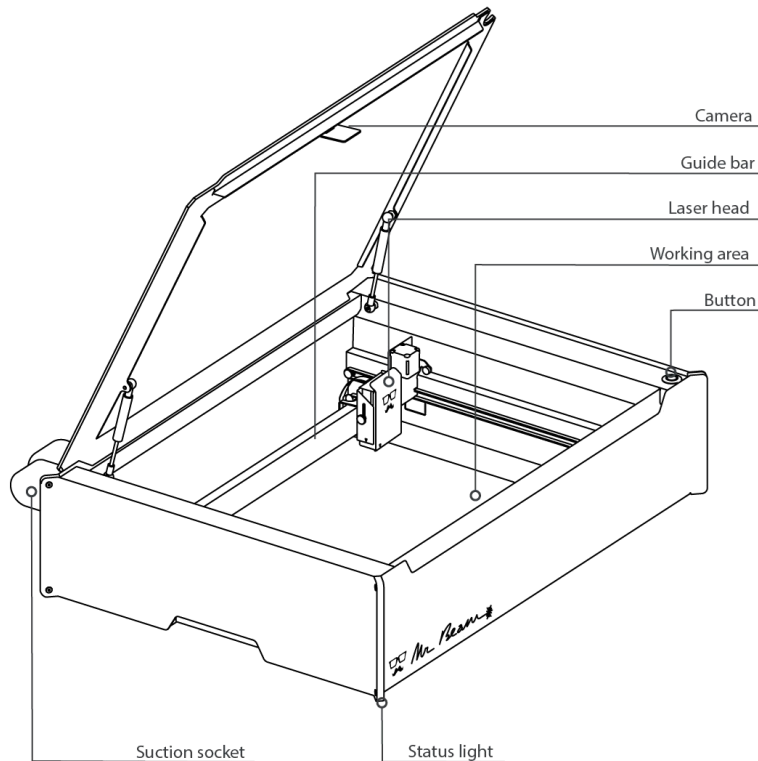
Índice de Reproducción Cromática (CRI):

Mide la precisión con la que una fuente de luz muestra los colores de los objetos.

Cortadora láser

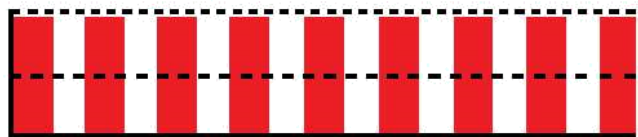


$P_0 = 5W \text{ cw}$
 $\lambda = 450nm$



Cortadora láser

PULSED LASER



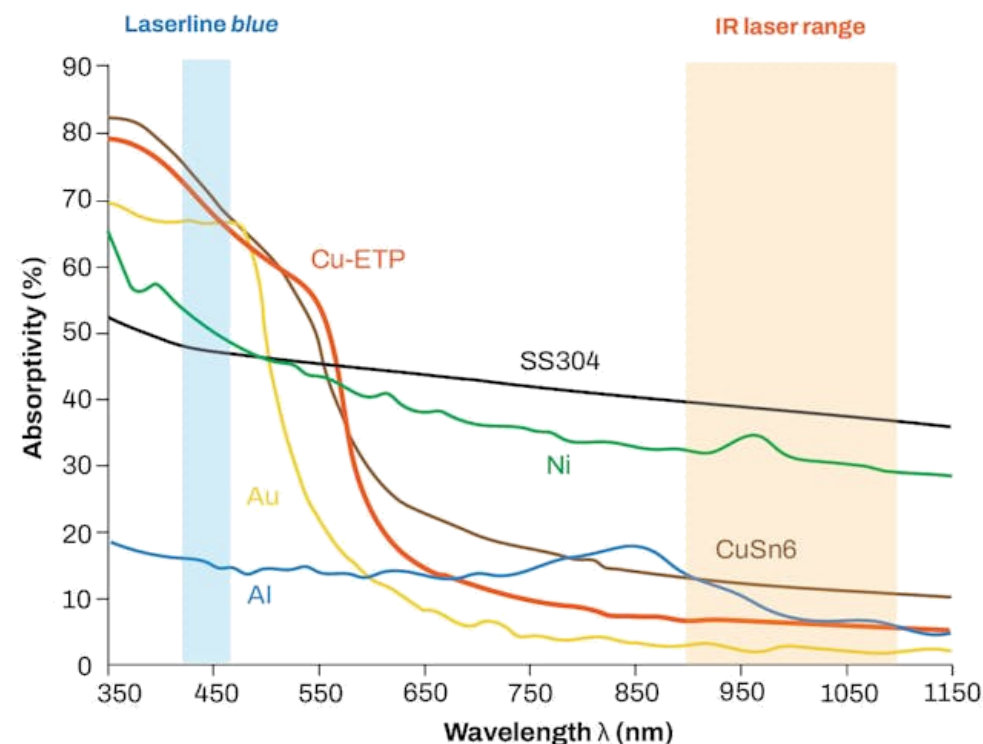
CW LASER



- **Potencia:** 5 W cw.
- **Longitud de onda:** 450 nm.
- **Diámetro del punto de enfoque:** 0,15 mm.
- **Velocidades de grabado :** Desde 50 mm/min hasta 3000 mm/min.

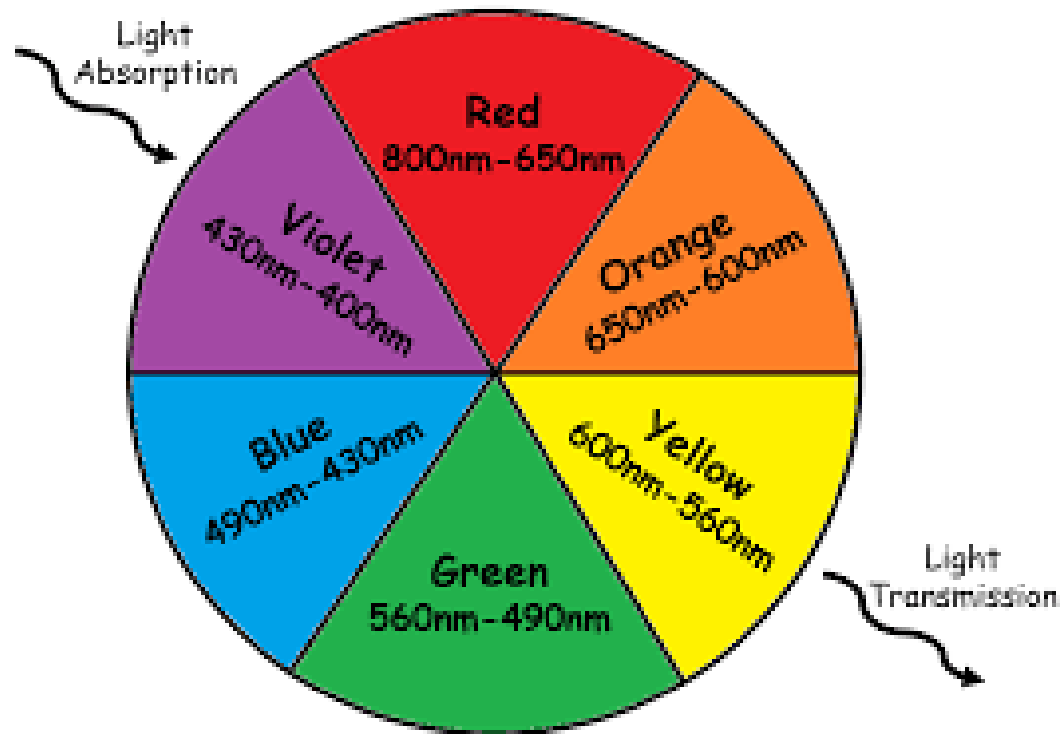
Example Materials	Blue Laser		Fiber Laser		CO ₂ Laser	
	Wall-Plug to Absorbed Light Efficiency [%]	Electricity Costs ¹	Wall-Plug to Absorbed Light Efficiency [%]	Electricity Costs ¹	Wall-Plug to Absorbed Light Efficiency [%]	Electricity Costs ¹
Wood	16.1	\$716	3.3	\$3,485	3.5	\$3,267
Leather	19.8	\$581	3.3	\$3,485	3	\$3,833
Textiles	18.7	\$615	5.5	\$2,091	3.2	\$3,594
Stainless Steel	9.9	\$1,162	6.8	\$1,686	0.1	\$95,833
Tungsten	11.7	\$986	9.1	\$1,260	0.1	\$143,750
Ceramics	19.8	\$581	13.9	\$830	1.2	\$9,274
Dark Opaque Plastics	13.2	\$871	6.6	\$1,742	2.6	\$4,423
Organic Materials	19.8	\$581	9.9	\$1,162	2	\$5,750

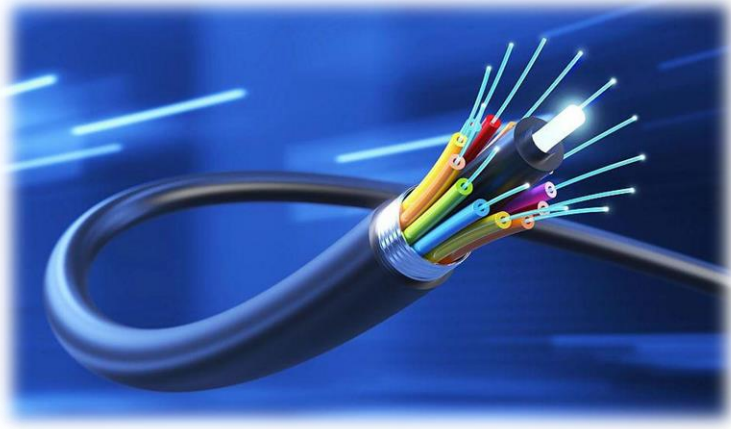
⁽¹⁾ for 10k working hours with 50 W of power being continuously absorbed by material



Cortadora láser

¿Por qué la tapa es naranja?

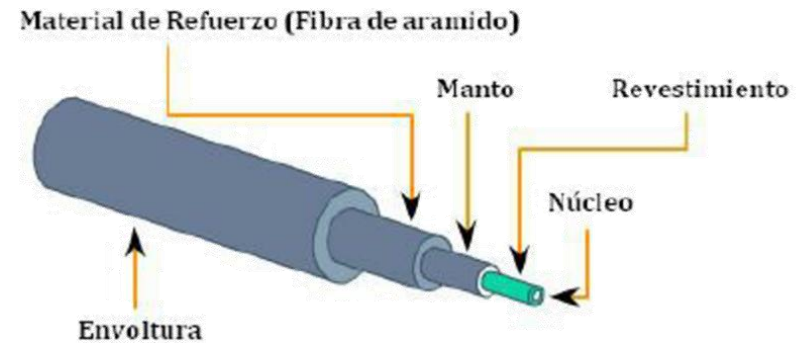




Aplicaciones

¿Cómo funciona Internet?

Comunicaciones ópticas: información codificada en un haz de luz se envía a través de un cable de fibra óptica de **vidrio o plástico**.



Ideado para **endoscopios** en 1950, con el objetivo de ayudar a los médicos a ver el interior del cuerpo humano sin necesidad de abrirlo.

En 1960 se empieza a utilizar para transmitir llamadas telefónicas a la velocidad de la luz.

Tamaño **hilo de fibra** < **décima parte del grosor de un pelo** humano (50/125 μm)

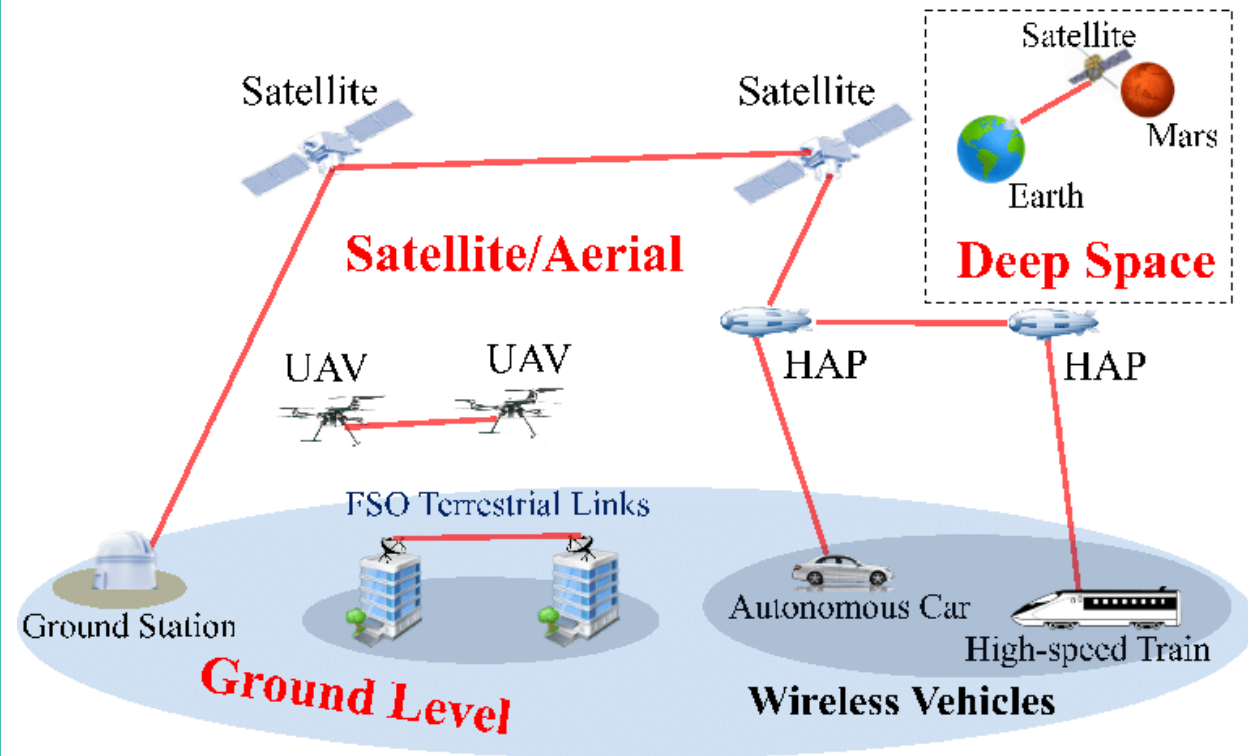
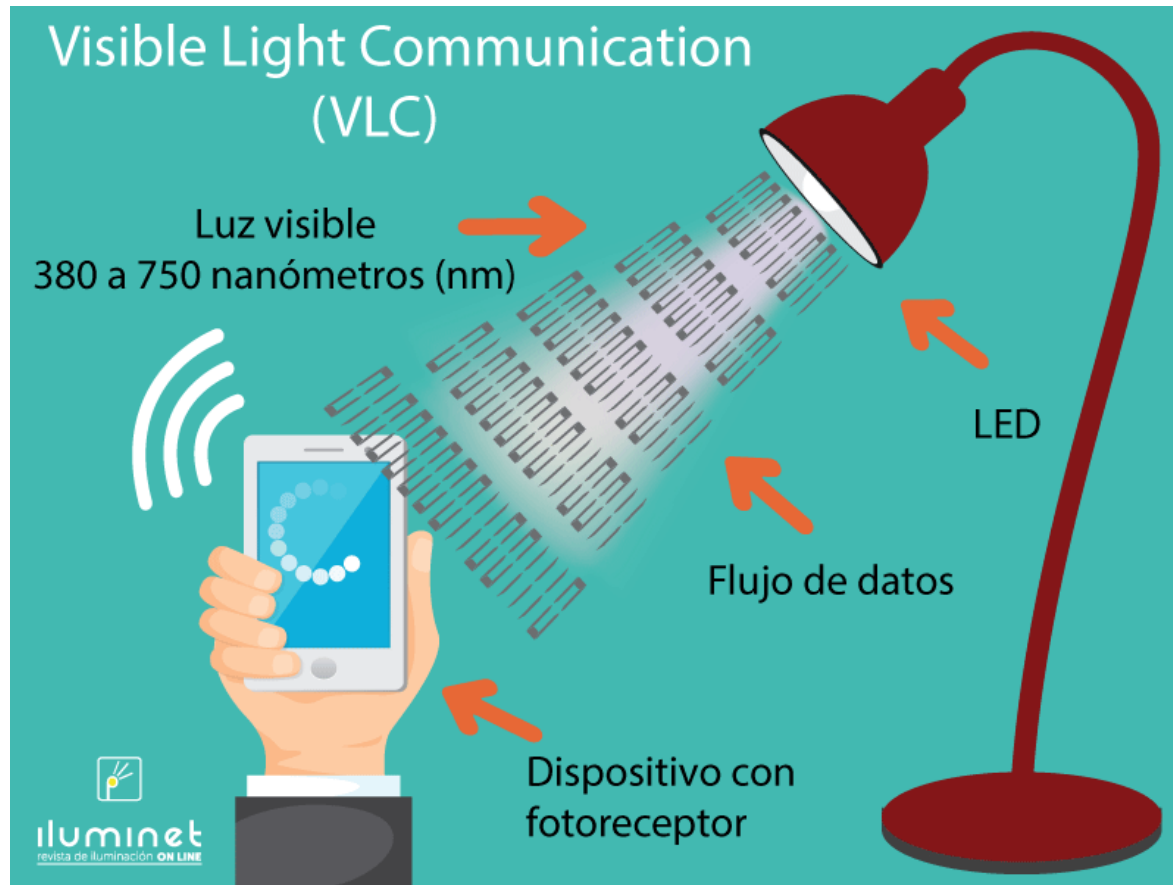
25,000 llamadas telefónicas a través de cada hilo

Baja atenuación: transmisión de un haz de luz después de 15 km de fibra, aunque la intensidad se habrá reducido a la mitad.

También se convierte la luz en información al otro lado con sensores.

Aplicaciones

Comunicación óptica en espacio libre

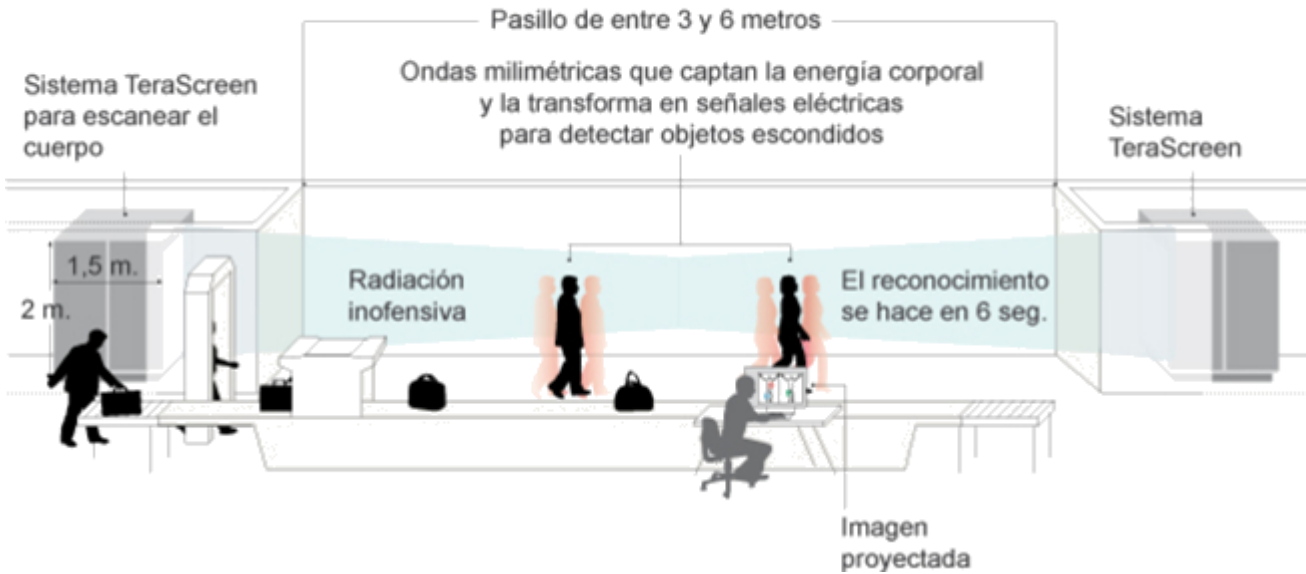


Aplicaciones

Herramienta de seguridad

¿Cómo ven los policías lo que llevamos dentro de una maleta?

Nuevo sistema europeo de seguridad



¿Cómo evitar falsificaciones?

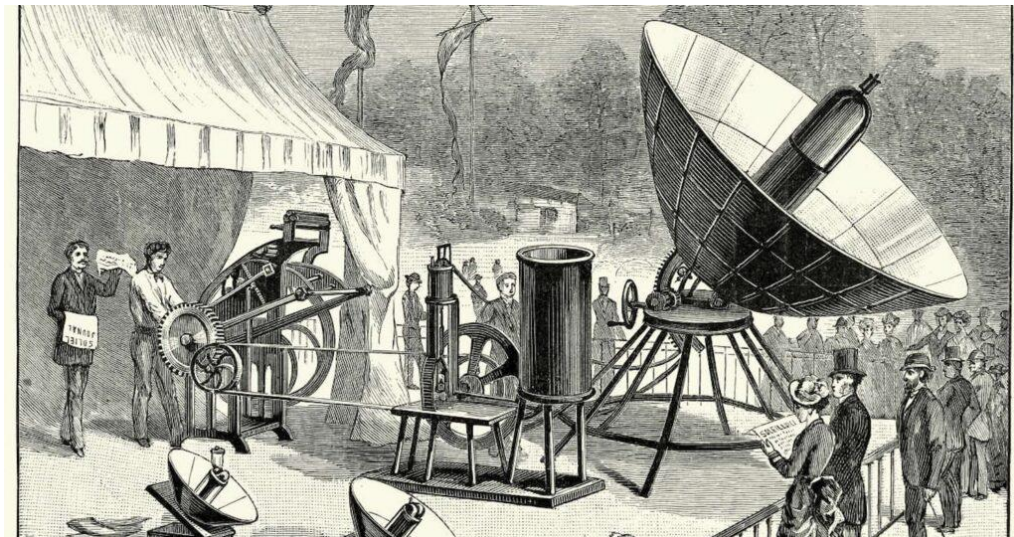


Holografía: descubierta en 1947 por Dennis Gabor mientras buscaba maneras de mejorar su microscopio electrónico. A través de los patrones de interferencia creados por los haces de láser, se puede reconstruir una imagen tridimensional de un objeto

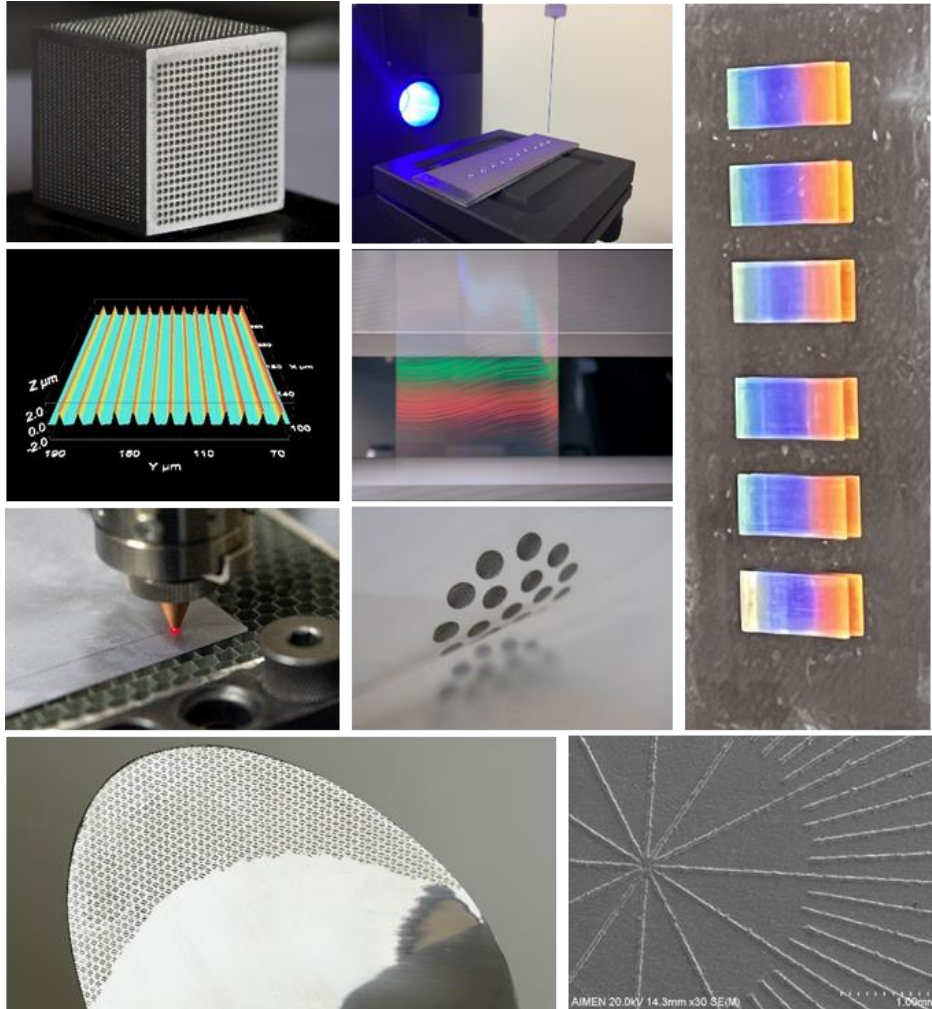
Aplicaciones

La luz como energía

Arquímedes (siglo III a.C.), durante la batalla de Siracusa habría utilizado espejos parabólicos para concentrar los rayos solares en las velas de los barcos romanos.



Aplicaciones



FABRICACIÓN DE ALTA PRECISIÓN.

MICROFABRICACIÓN

TALADRADO

CORTE Y SOLDADURA
DE ALTA PRECISIÓN

FABRICACIÓN ADITIVA

TEXTURIZADO
SUPERFICIAL

FABRICACIÓN
DIRECTA

FABRICACIÓN DE
MOLDES

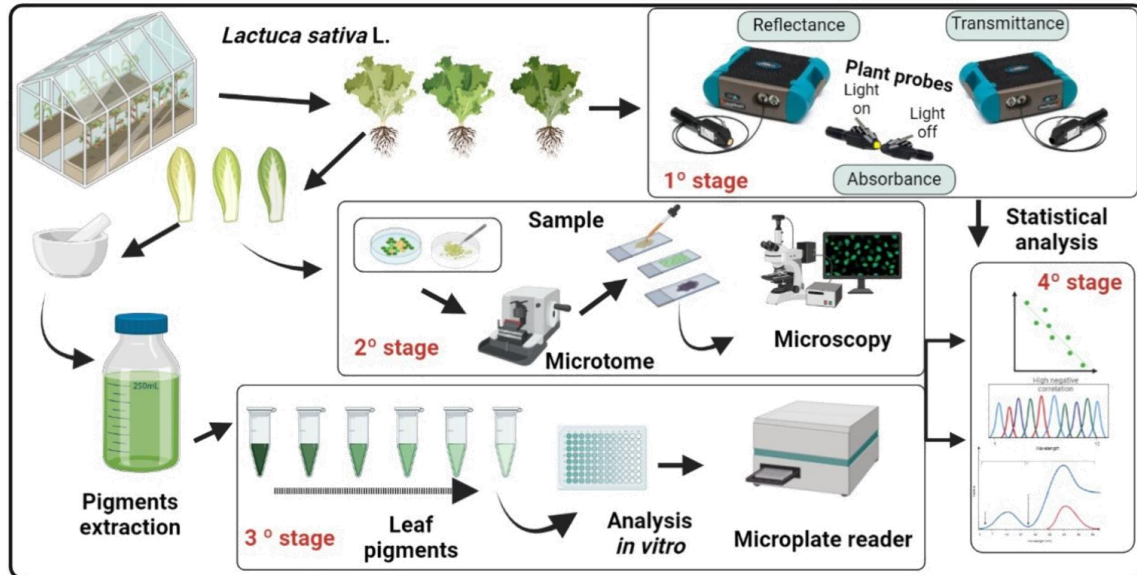
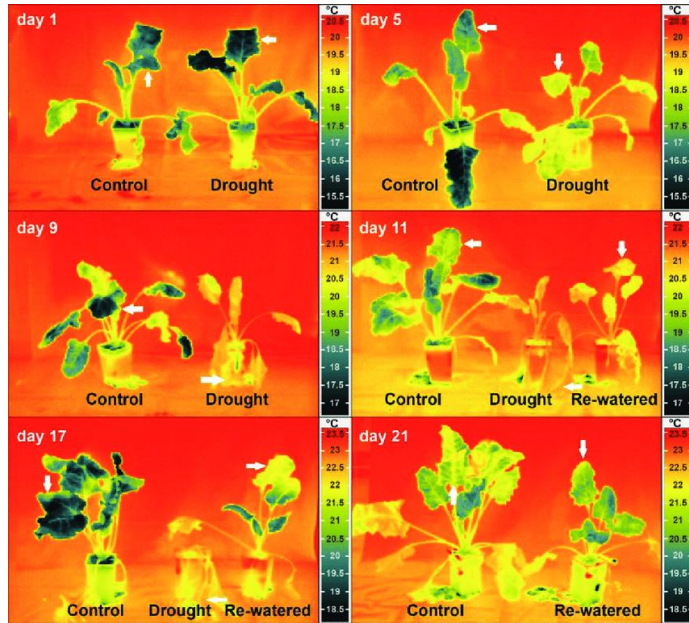
POLIMERIZACIÓN
MULTIFOTÓN (MPP)

FUNCTIONALIZACIÓN
SUPERFICIAL

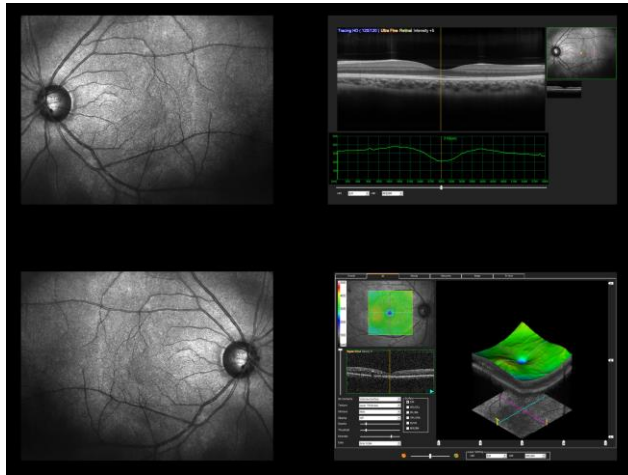
PROCESOS DE
REPLICACIÓN

Vídeo AIMEN

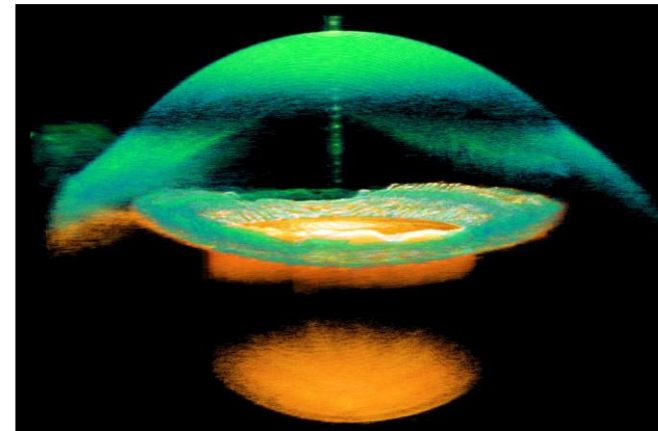
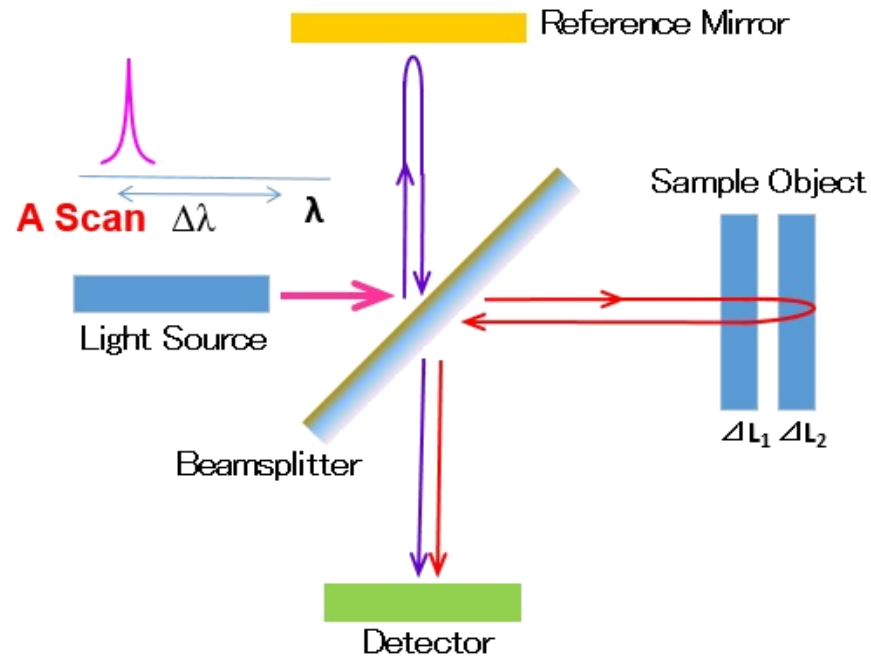
Aplicaciones Alimentación



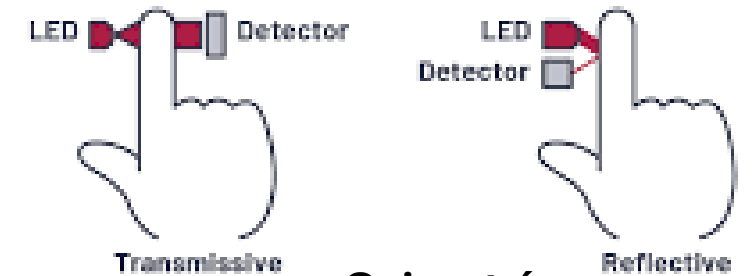
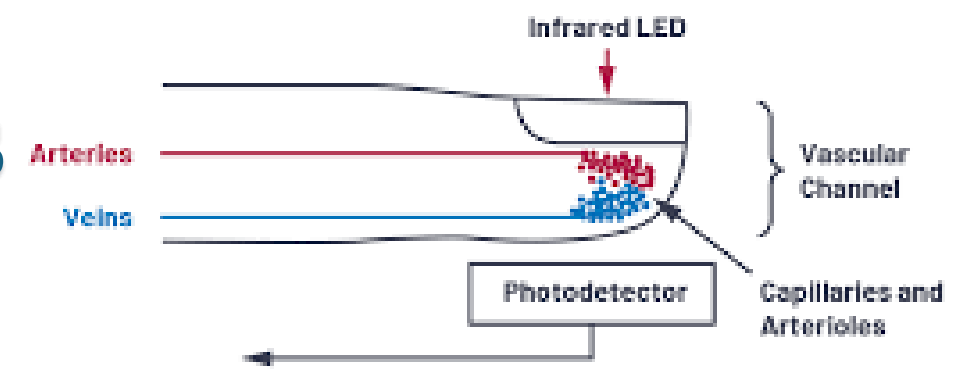
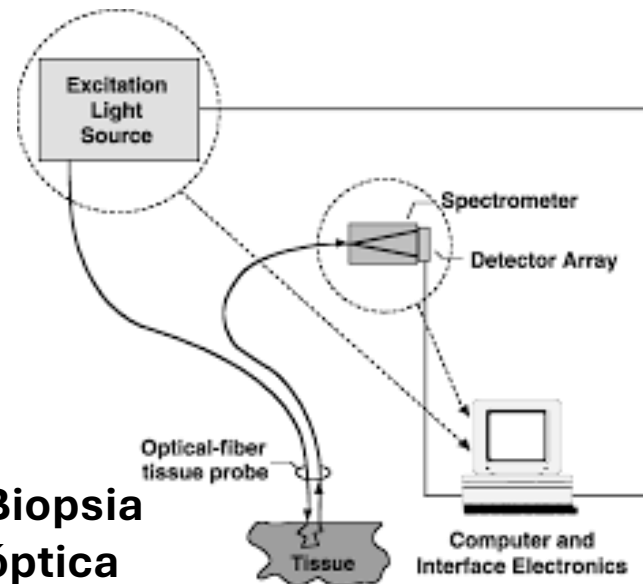
Aplicaciones Biomedicina



Tomografía de coherencia óptica (OCT)



Biopsia óptica



Oximetría

BLUE LIGHT (Surface Tissue)	GREEN LIGHT (Surface Tissue)	YELLOW LIGHT (Soft Tissue)	RED LIGHT (Soft Tissue)	NR INFRARED LIGHT (Deep Tissue)
Targets p-acne bacteria, break acne cycle, soothe skin and control oil production.	Helps control Hyper-pigmentation and sunspots caused by sun damage.	Reduces redness, flushing, helpful for rosacea and sunburn.	Improves skin plumpness, radiance, reduces appearance of lines & wrinkles, reduces inflammation.	Penetrates deeper into the skin to amplify the treatment.

