

ÓPTICA FÍSICA Y ÓPTICA GEOMÉTRICA

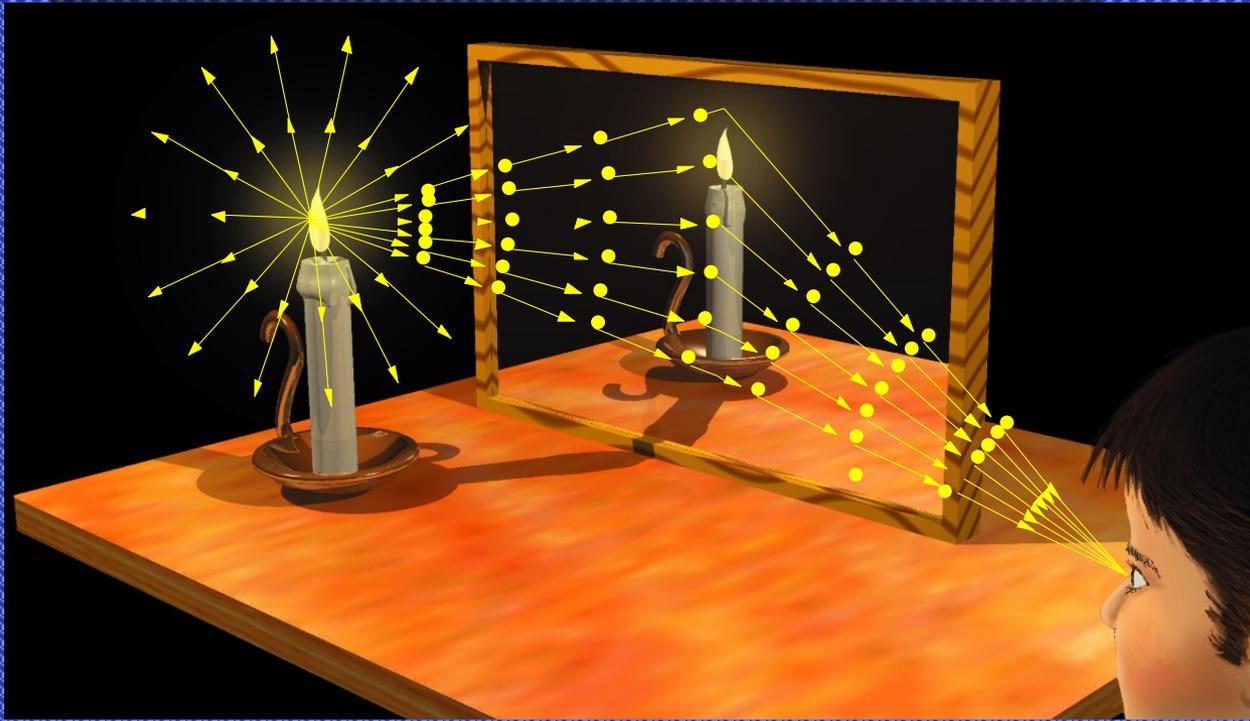
Física 2º Bachillerato

La **Óptica** o ciencia que estudia la luz, es una de las ramas más antiguas de la física.

La **óptica geométrica** se basa en el concepto de rayo luminoso como trayectoria que siguen las partículas materiales emitidas por los cuerpos luminosos sin preocuparse de estudiar cual es la naturaleza de la luz.

La **óptica física** estudia los fenómenos luminosos e investiga cual es la naturaleza de la luz.

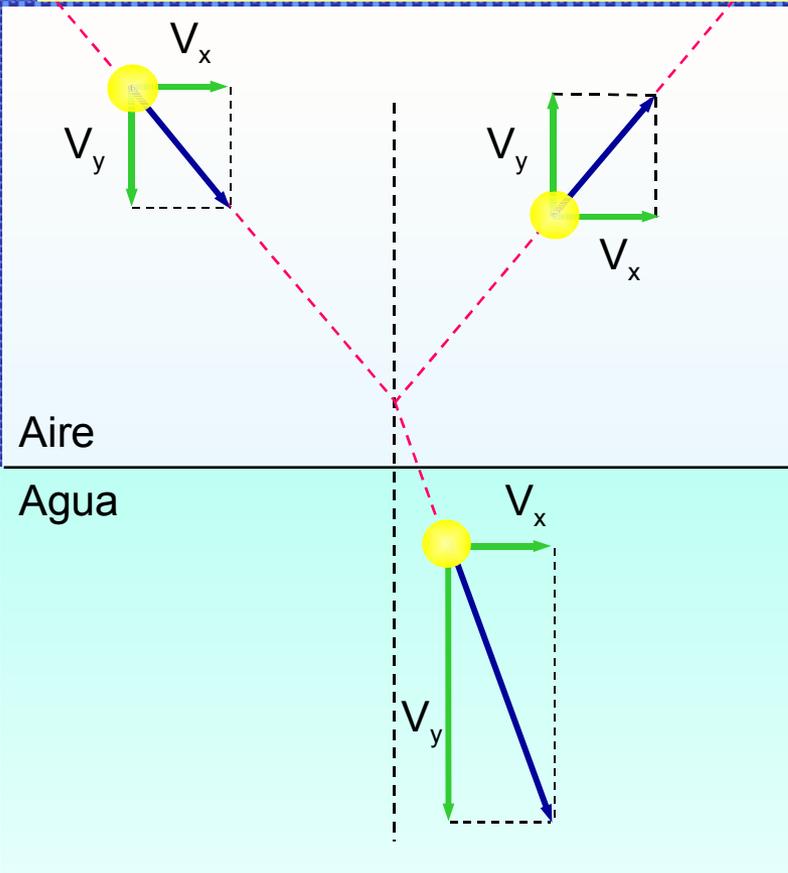
LA NATURALEZA DE LA LUZ



- Durante siglos se creyó que la luz consistía en un chorro de partículas emitidas por una fuente luminosa
- Los demás cuerpos se veían debido a que se reflejan algunos de los corpúsculos que los golpean, y al llegar estas partículas al ojo, se producía la sensación de ver. Esto explicaba la reflexión de la luz en un espejo

EL MODELO CORPUSCULAR DE NEWTON

Isaac Newton publica en 1704 su *óptica* y asienta el modelo corpuscular de la luz sobre las ideas de Descartes. **Supone que la luz está formada por corpúsculos materiales que son lanzados a gran velocidad por los cuerpos emisores de luz.**



Este modelo explica y se basa en:

La propagación rectilínea de la luz: la luz está formada por pequeñas partículas que viajan a gran velocidad, pero no infinita, de manera que sus trayectorias rectilíneas constituyen los rayos luminosos.

La ley de la reflexión: al incidir la luz en una superficie lisa como la de un espejo choca con dicha superficie y se refleja del mismo modo que una bala choca contra una placa de acero.

La ley de la refracción o cambio en la dirección de la trayectoria que experimenta la luz cuando pasa de un medio a otro diferente, por ejemplo, del aire al agua. La refracción es debida a la diferente densidad de los medios por los que atraviesa la luz

- Sus métodos mecánicos le condujeron a conclusiones erróneas, al afirmar que la velocidad de la luz era superior en el agua que en el aire

Modelos ondulatorios

Modelo ondulatorio de Huygens

- En 1690 publicó su **teoría sobre la propagación de la luz** como un movimiento ondulatorio que necesitaba de un medio material llamado **éter**, para propagarse
- **Desechaba** la posibilidad de que se tratara de un **movimiento corpuscular** ya que dos haces de luz podían cruzarse sin estorbarse
- Su mayor error fue **considerar la ondas de luz longitudinales**, como las del sonido **que se propaga en un medio aun no descubierto que llamó “éter”**. Consideraba el “éter “ como un fluido impalpable que todo lo llena incluso donde parece no haber nada, el vacío, luego no existe el vacío ya que está lleno del “éter”. Considera la luz como ondas esféricas y concéntricas con centro en el punto donde se origina la perturbación (foco luminoso).

La discusión entre el modelo corpuscular de Newton y el ondulatorio de Huygens fue ganada por Newton en un primer momento debido a su mayor prestigio y fama como científico y a que los experimentos que se conocían en aquella época apoyaban a Newton

Vuelve a tomarse en consideración la teoría ondulatoria de la luz en el siglo XIX gracias a los trabajos de difracción e interferencias con rayos luminosos de Young.

Se observa que los rayos luminosos cumplen el principio de superposición de manera que cuando dos rayos de diferentes orígenes coinciden en la misma dirección su efecto es una combinación (superposición) de ambos y una vez traspasado el lugar de la superposición siguen con su forma original, comportamiento claramente ondulatorio .

Young propone que la luz está formada por ondas transversales.

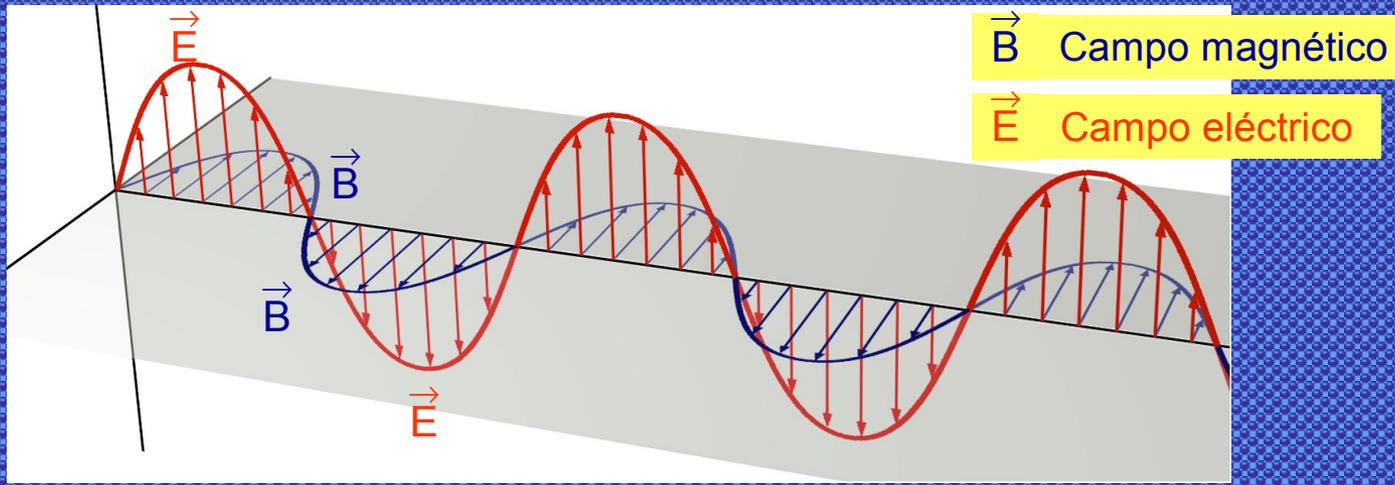
Malus estudia el fenómeno de polarización de la luz y Fresnel deduce que puesto que la luz se polariza debe ser efectivamente una onda transversal y tridimensional.

Modelo ondulatorio de Fresnel

- Estableció que las vibraciones en la luz no pueden ser longitudinales, sino que deben ser perpendiculares a la dirección de propagación, y por tanto **transversales**
- Basándose en este concepto **enunció** matemáticamente **la ley de la reflexión**

Faraday estableció una interrelación entre electromagnetismo y luz cuando encontró que la dirección de polarización de un rayo luminoso puede alterarse por la acción de un fuerte campo magnético. **Sugirió que la luz podría tener naturaleza electromagnética.**

MODELO ONDULATORIO DE MAXWELL

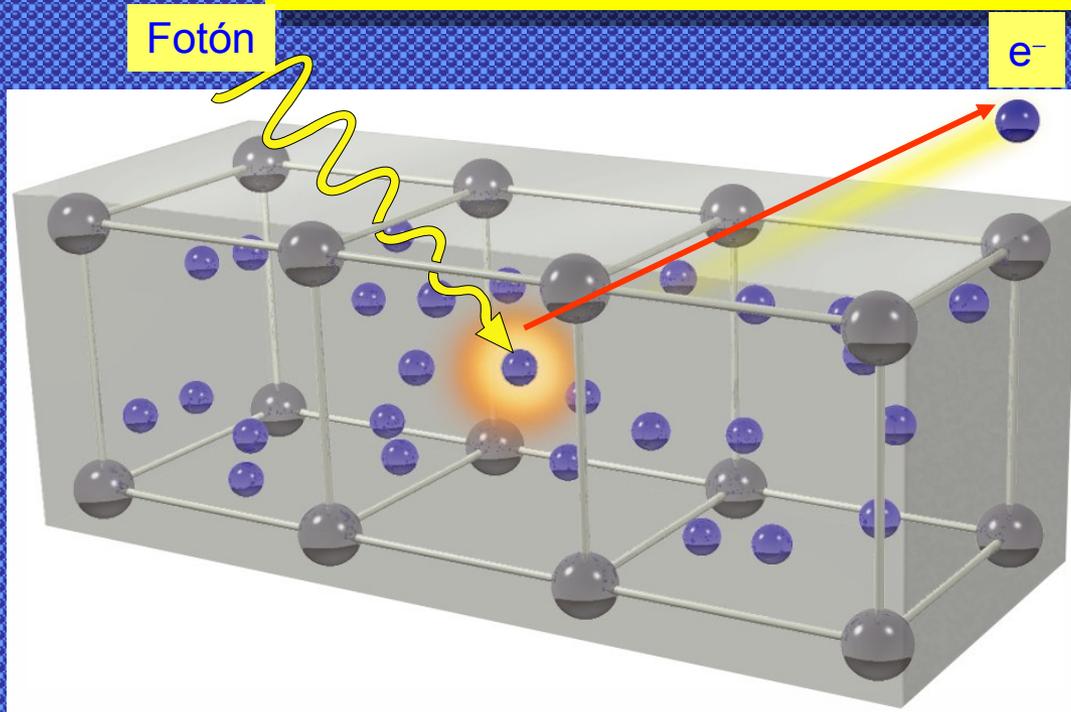


- James Clerk **Maxwell** demostró que las ondas luminosas son **electromagnéticas**, del tipo de las ondas de radio, y **no necesitan medio** alguno para propagarse
- La frecuencia de las ondas luminosas es mucho mayor que las de radio, e **impresionan la retina del ojo**

$$\frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = c$$

Hertz produce por primera vez ondas electromagnéticas (luz) a partir de circuitos eléctricos alternos y realiza con ellas reflexión, refracción e interferencias.

EFECTO FOTOELÉCTRICO



- Consiste en la obtención de electrones libres de un metal cuando sobre este incide un haz de luz
- Un aumento de la intensidad luminosa no suponía un incremento de la energía cinética de los electrones emitidos

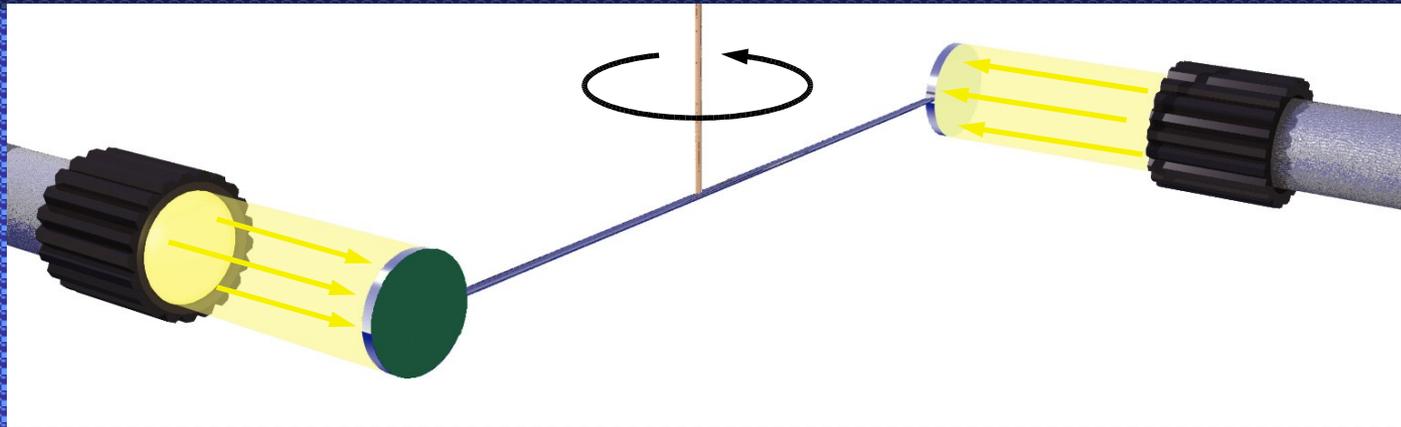
- La luz interacciona con los electrones de la materia en cantidades discretas que se denominan cuantos

- La energía de un cuanto es: $E = h \nu$ siendo ν la frecuencia y h la constante de Planck cuyo valor es $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s

Einstein rechaza la existencia del “éter” y admite que la luz se propaga en el vacío con una velocidad de $3 \cdot 10^8$ m/s

La luz se debe a la oscilación de las cargas eléctricas que forman la materia, es una perturbación electromagnética que se propaga en forma ondulatoria transversal en el vacío. Una onda electromagnética se produce por la variación en algún lugar del espacio de las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia.

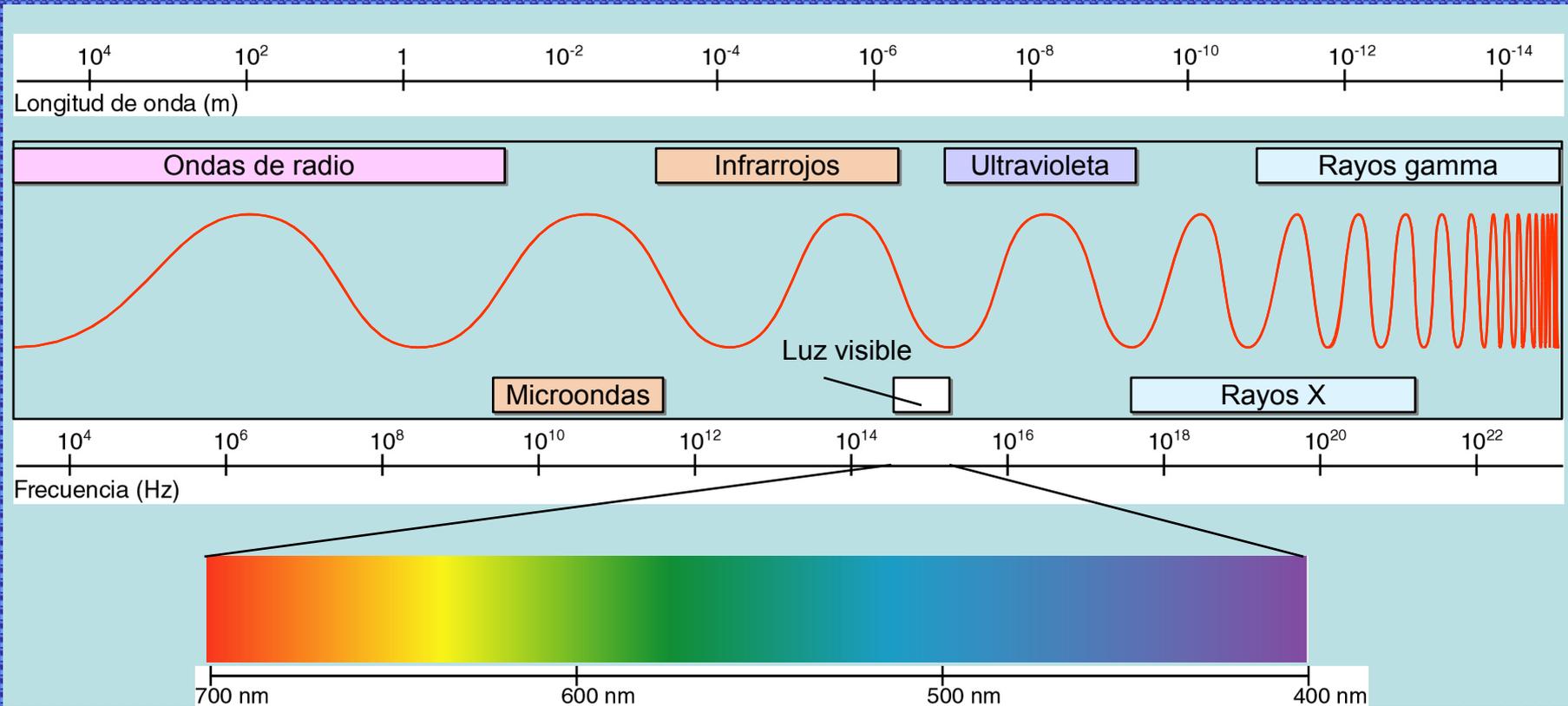
NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA LUZ



- Para observar la presión luminosa se sitúan **dos espejos planos** en los extremos de una barra suspendida por su centro y **orientados en sentidos opuestos**
- Se hace incidir dos haces de luz de gran intensidad produciendo un giro, de modo que se puede calcular el valor de la presión que la luz ejerce sobre los espejos
- Esto demuestra que la luz se comporta en ocasiones como una partícula

Louis de Broglie afirmó en 1922 que la luz tiene doble naturaleza: **ondulatoria y corpuscular**

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



- Las ondas electromagnéticas **difieren** entre sí en su frecuencia y en su longitud de onda, pero todas se propagan en el vacío a la **misma velocidad**
- Las longitudes de onda cubren una amplia gama de valores que se denomina **espectro electromagnético**

ÍNDICE DE REFRACCIÓN

- **INDICE DE REFRACCIÓN:** es la relación que existe entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en un determinado medio.

$$n = \frac{c}{v}$$

- Puede definirse el **índice de refracción relativo** entre dos medios como:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1}$$

tomándose en general al vacío como medio 1

La velocidad de la luz en el vacío es igual a $3 \cdot 10^8$ m/s; y es la velocidad máxima que existe.

Un índice de refracción pequeño indica una velocidad grande.

El índice de refracción del aire se puede tomar como 1 ya que la velocidad de la luz en el aire es aproximadamente igual que en el vacío.

Medios Isótropos: tienen igual índice de refracción en todas las direcciones.

Medios Anisótropos: tienen diferente índice de refracción según la dirección que se tome.

Índice de refracción de algunas sustancias

Aire	1,00
Agua	1,33
Aceite	1,45
Vidrio para botellas	1,52
Vidrio crown ligero	1,54
Vidrio flint ligero	1,58
Cristalino	1,44
Cuarzo	1,54
Diamante	2,42
Nailon 66	1,53

EL PRINCIPIO DE FERMAT

PRINCIPIO DE FERMAT O PRINCIPIO MÍNIMO: “ La naturaleza tiende siempre a actuar por los caminos más cortos”. Dicho principio establece que cuando la luz se desplaza de un punto a otro lo hace siempre por el camino más corto (la línea recta).

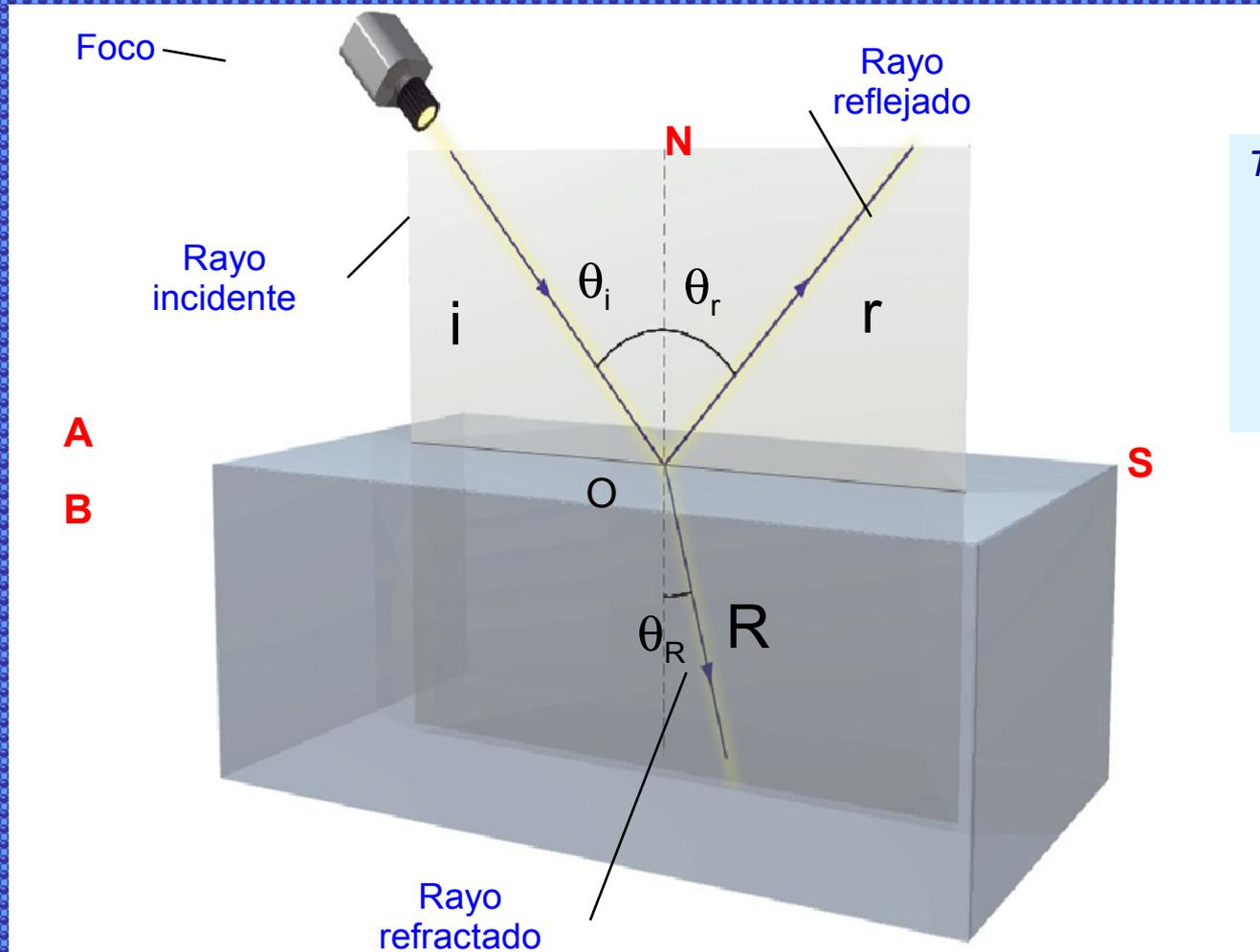
En un medio homogéneo e isótropo la trayectoria de la luz es rectilínea y su velocidad es constante.

- El espacio que recorre la luz en los distintos medios **depende de su velocidad de propagación y de su índice de refracción**

- Siendo t el tiempo que tarda la luz en ir desde un punto A a otro B , separados una distancia r en un medio, se cumple que:

$$r = v t$$

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ



Tanto en la reflexión como en la refracción, el rayo incidente, la normal y los rayos reflejados o refractados se encuentran en el mismo plano.

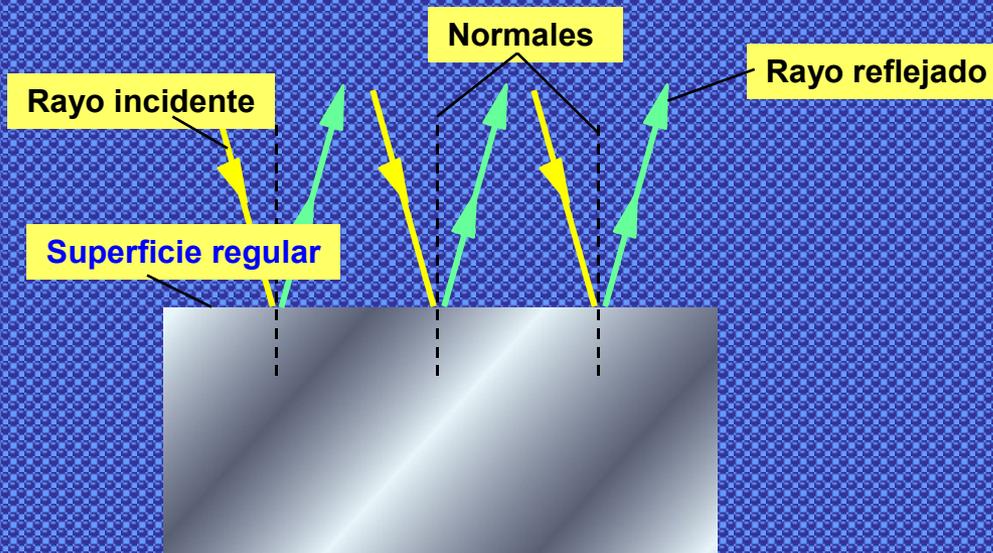
REFLEXIÓN

el rayo de luz llega a la separación de dos medios y sale rebotado.

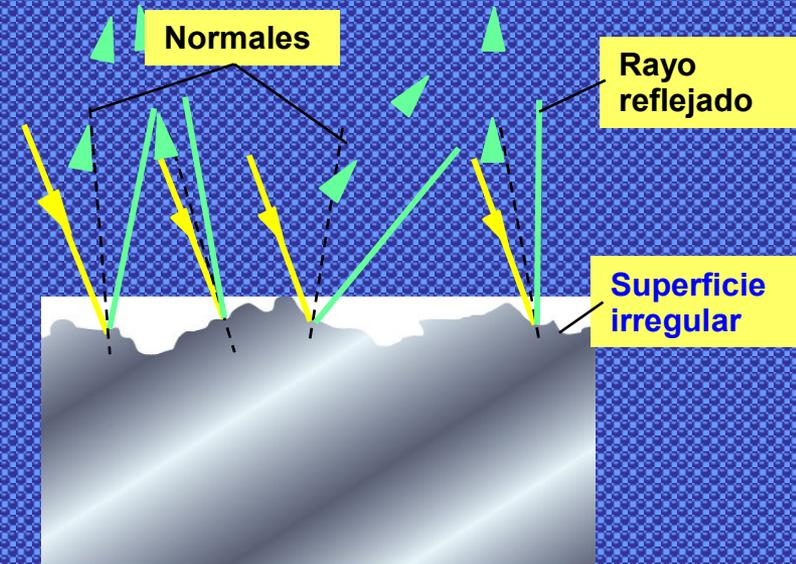
- La reflexión es el fenómeno por el cual el **rayo incidente sigue propagándose** por el medio de incidencia. Este fenómeno permite ver objetos no luminosos

- Dependiendo del tipo de superficie, lisa o irregular, la reflexión será **especular**, o **difusa**

REFLEXIÓN ESPECULAR



REFLEXIÓN DIFUSA



En cualquier caso, el ángulo que forma el rayo incidente con la normal (θ_i), es **igual** al formado por la normal y el reflejado (θ_r)

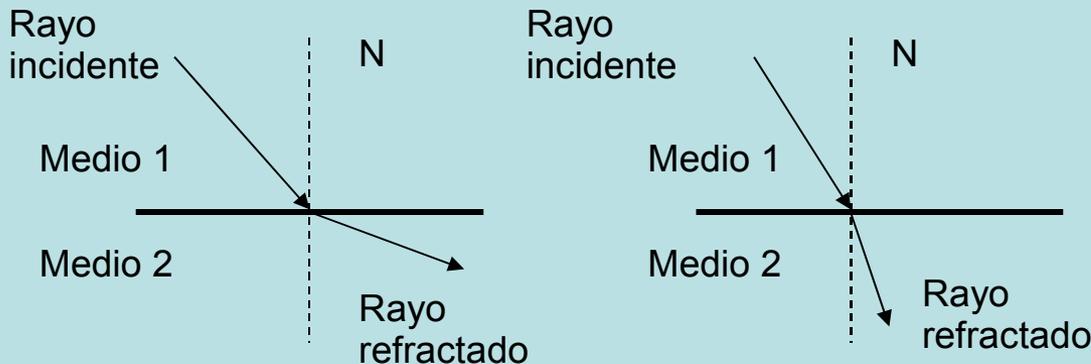
REFRACCIÓN

- La refracción es la desviación que experimenta la dirección de propagación de la luz cuando pasa de un medio a otro en el que su velocidad es distinta

- Esta ley fue la enunció Willebord Snell, astrónomo y matemático holandés en 1620

Ley de Snell: Cuando la luz pasa de un medio de índice de refracción n_i a otro medio de índice de refracción n_r , los ángulos de incidencia θ_i y de refracción θ_r cumplen la relación:

$$n_i \text{ sen } \theta_i = n_r \text{ sen } \theta_r$$



$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$

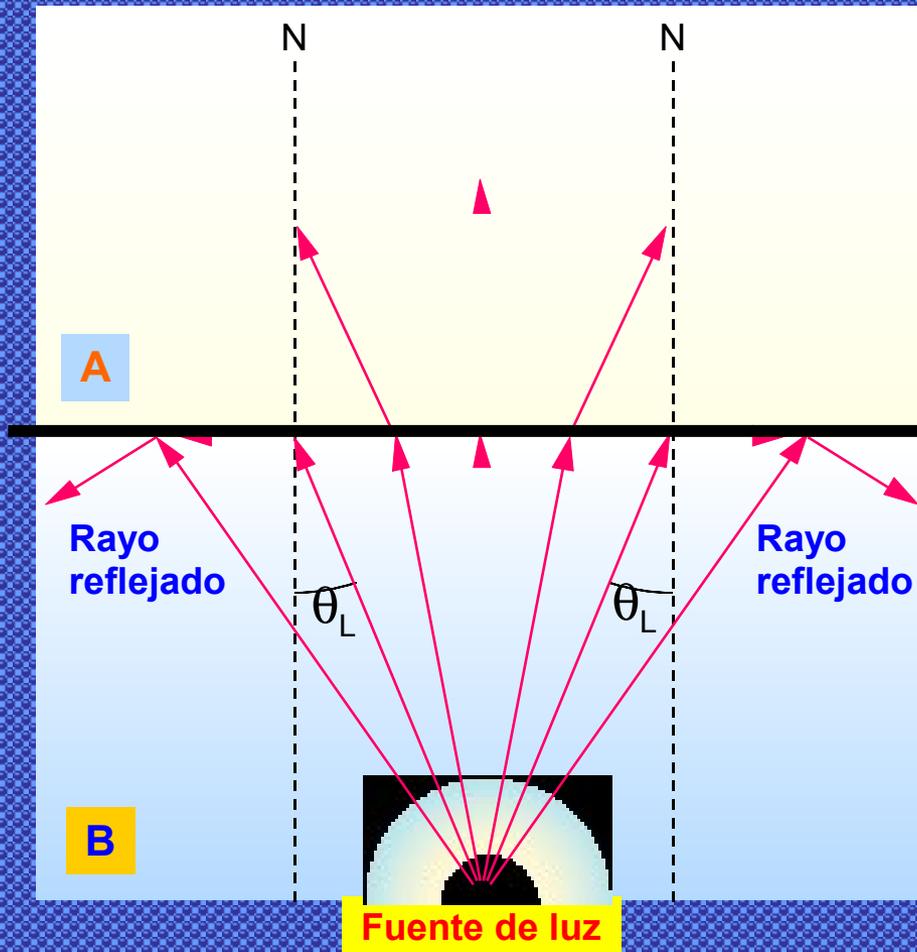
$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

La luz se propaga más rápido en el medio 2 que en el 1 (n_2 menor que n_1)

La luz se propaga más rápido en el medio 1 que en el 2 (n_1 menor que n_2)

REFLEXIÓN TOTAL

- Un rayo de luz se acerca a la normal cuando pasa de un medio de menor índice de refracción a otro de mayor, y se aleja de ella en caso contrario



Si los rayos de luz pasan de un medio **B** a otro medio **A** con índice de refracción menor:

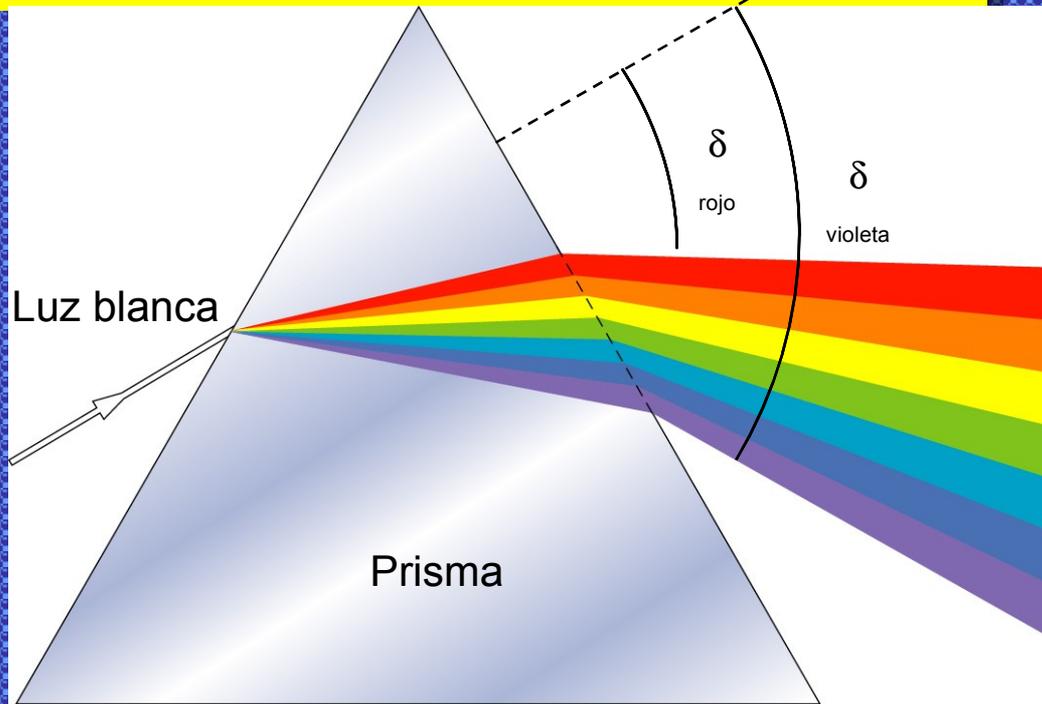
- Los rayos incidentes forman con la normal ángulos cada vez mayores
- Los rayos refractados se alejan de la normal hasta formar con ella un ángulo de 90° (ángulo límite θ_L)
- El rayo incidente deja de pasar al siguiente medio $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_R$

$$\text{si } \theta_R = 90^\circ \text{ sen } \theta_R = 1$$

$$n_1 \sin \theta_{iL} = n_2$$

$$\text{sen } \theta_L = \frac{n_2}{n_1}$$

LA DISPERSIÓN DE LA LUZ



La luz blanca está formada por una mezcla de luces de diversos colores y cada color corresponde a una determinada longitud de onda, siendo el extremo del espectro luminoso visible (mínima frecuencia) el rojo y el otro extremo el violeta.

Rojo
Naranja
Amarillo
Verde
Azul
Índigo
Violeta

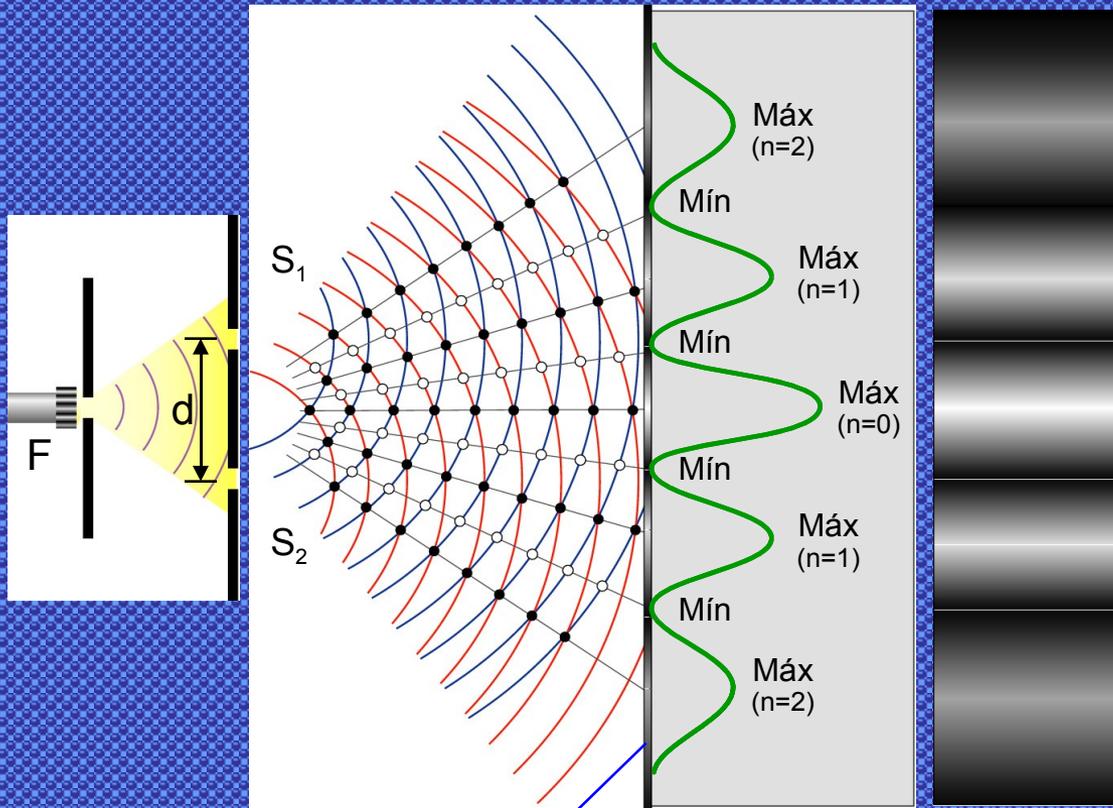
Físicamente el color no existe, se trata de una sensación fisiológica y psicológica que sólo algunas especies animales comparten con el hombre. El color que se percibe no es más que el resultado que proporciona la medida que lleva a cabo el ojo y la interpretación que realiza el cerebro de la luz que recibe.

- Obtención del espectro continuo de la luz, al hacer pasar un rayo de luz solar a través del prisma

La dispersión de la luz es la separación de un rayo de luz en sus componentes debido a su diferente índice de refracción

Los diferentes objetos que nos rodean reciben luz y absorben la mayoría de las radiaciones, pero reflejan algunas que corresponden al color con el que les vemos

INTERFERENCIAS



Pantalla

- Se forma una **banda de interferencias** con una serie de franjas paralelas claras y oscuras

- Se observa que **luz más luz puede dar oscuridad**

- La diferencia de caminos entre los rayos que parten de ambas rendijas y llegan a un mismo punto de la pantalla es:

$$d \operatorname{sen} \theta$$

- Las **franjas iluminadas** corresponden a **ondas que llegan en fase**

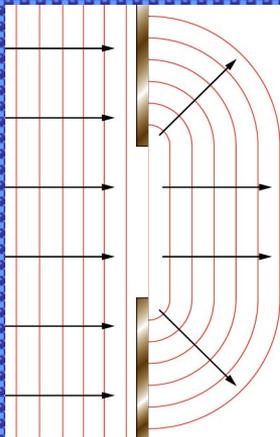
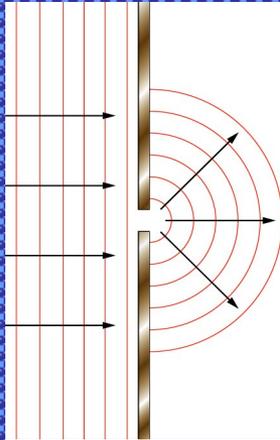
$$x_2 - x_1 = d \operatorname{sen} \theta = n\lambda$$

- Las **franjas oscuras** corresponden a ondas que llegan **en oposición de fase**. Se produce cuando:

$$x_2 - x_1 = d \operatorname{sen} \theta = \frac{(2n + 1) \lambda}{2}$$

DIFRACCIÓN

cambio en la dirección de propagación que sufre una onda, sin cambiar de medio, cuando se encuentra un obstáculo en su camino



- Para poder observar este fenómeno, las dimensiones del objeto deben ser del mismo orden o menor que la longitud de onda

- El principio de Huygens permite explicar el fenómeno de la difracción

- Al llegar a la abertura, los puntos del frente de onda actúan como emisores de ondas elementales. El frente de la nueva onda queda determinado por la relación entre el tamaño de la longitud de onda y el obstáculo

- Podemos recibir un sonido cuando tenemos un obstáculo delante que nos impide ver la fuente. La longitud de onda del sonido se encuentra entre 2 cm y 20 m y puede salvar obstáculos de estas dimensiones

- Para la luz, la longitud de onda es del orden de 10^{-7} m

POLARIZACIÓN DE LA LUZ

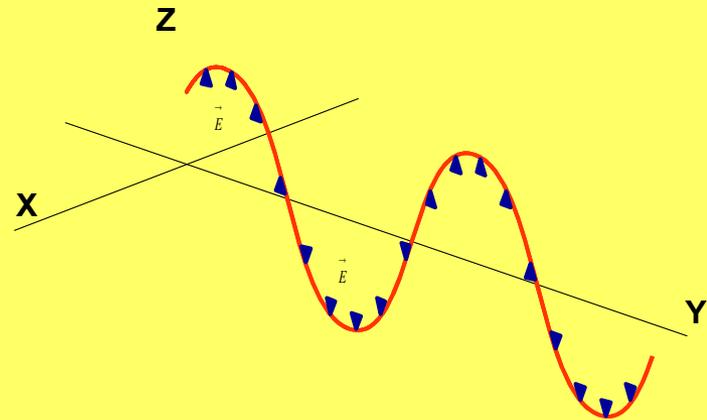
- La polarización solo puede presentarse en los movimientos ondulatorios de **vibración transversal**
- Es una propiedad exclusiva de las ondas transversales que consiste en la **vibración del campo eléctrico y del magnético en una dirección preferente sobre las demás**
- En general las ondas electromagnéticas no están polarizadas, lo que significa que el campo eléctrico y el magnético pueden vibrar en cualquiera de las infinitas direcciones que son perpendiculares a la dirección de propagación

Polarización lineal

- Se produce la **polarización** cuando se consigue que la **vibración** se realice en una **dirección determinada**

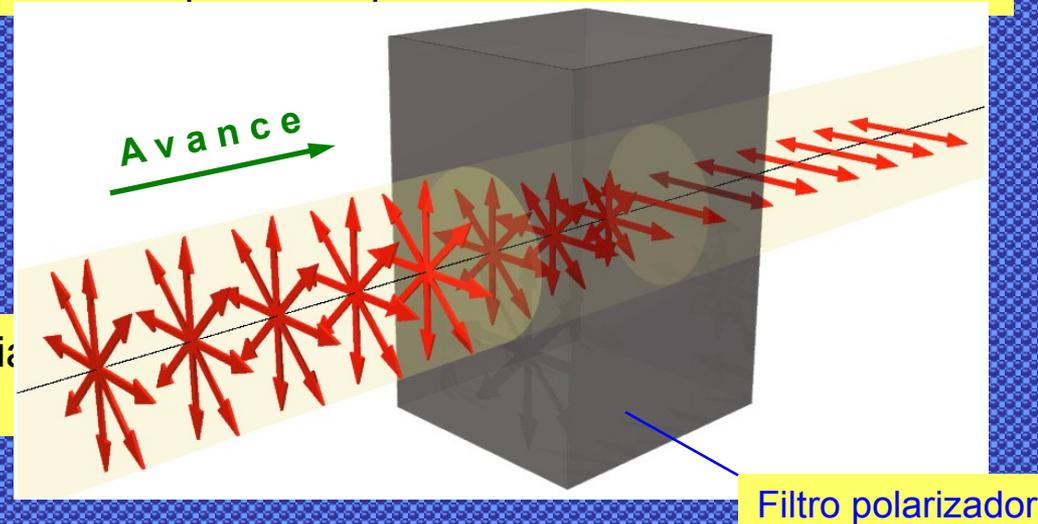
- Para estudiar el fenómeno, se observa la **dirección de vibración del campo eléctrico** pues el magnético, por ser perpendicular al eléctrico y a la dirección de propagación, queda fijado automáticamente

El vector \vec{E} siempre vibra en una misma dirección



- Es un método de polarización que consiste en la absorción de la luz que vibra en todas las direcciones menos en una

- Tras atravesar la luz determinadas sustancias, la vibración en un plano se mantiene, mientras que en el resto de los planos, está tan atenuada que no se percibe



- Este efecto se produce en aquellos materiales que tienen gran poder antirreflectante

- Las turmalinas son unos minerales que producen el mismo efecto que los polaroides

ÓPTICA GEOMÉTRICA

- **Óptica geométrica** es la parte de la física que estudia la trayectoria de la luz cuando experimenta reflexiones y refracciones en la superficie de separación entre medios
- **Sistema óptico** es un conjunto de medios materiales limitados por superficies de cualquier naturaleza
- **Modelo de rayo de luz** es un modelo que supone que la luz no se difracta y consiste en una línea de avance perpendicular al frente de onda

Los rayos son:

{ Reversibles en su propagación
{ Independientes de otros rayos

Sistema óptico:

{ Estigmático
{ Astigmático
{ Centrado

Las imágenes

{ Según su naturaleza

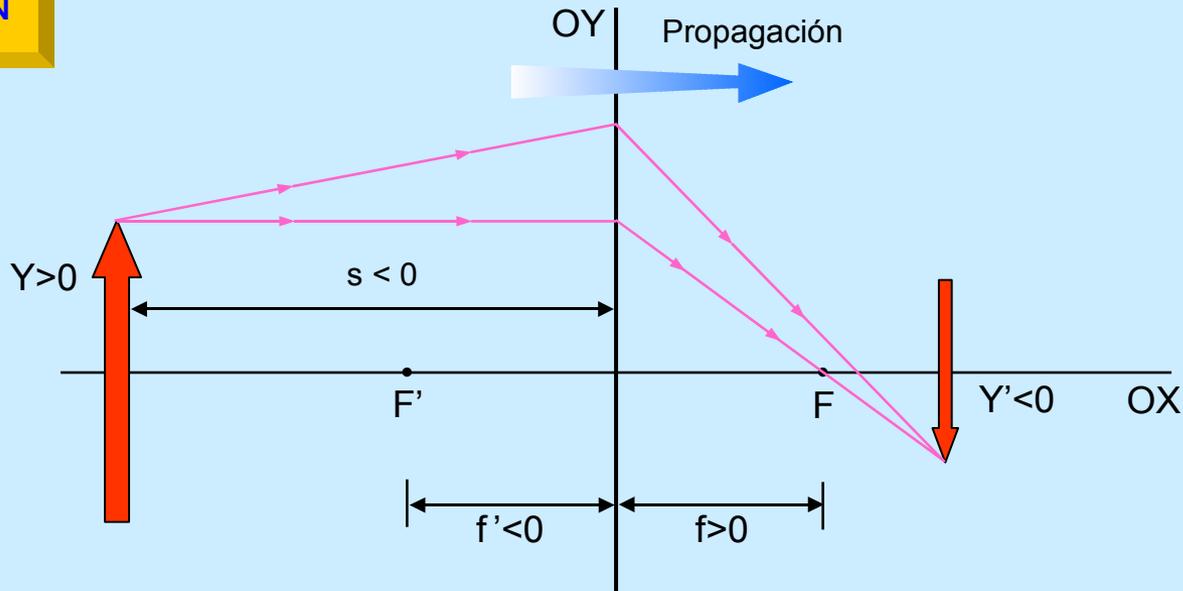
{ Reales
{ Virtuales

{ Según su posición

{ Derechas
{ Invertidas

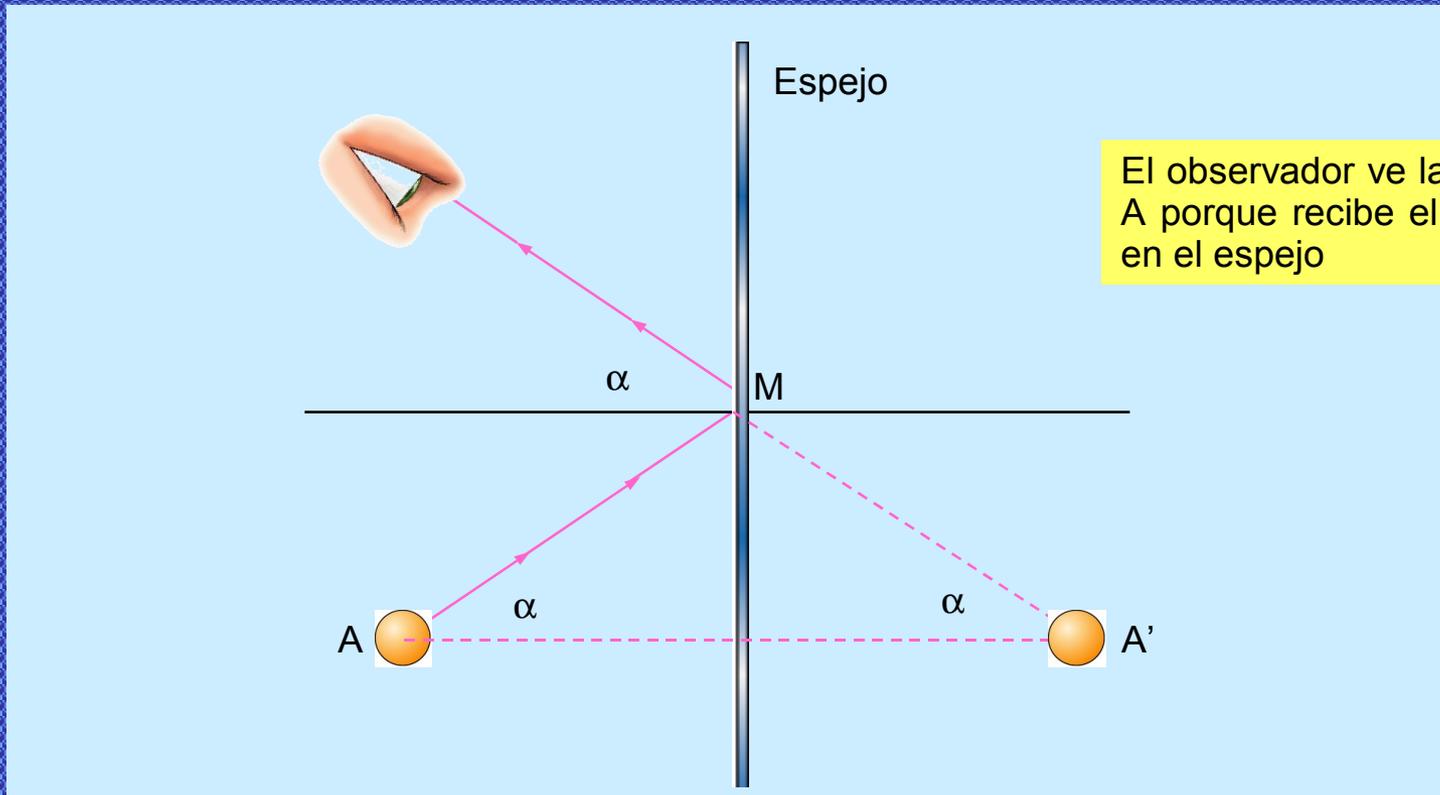
CONVENIO DE SIGNOS

Normas DIN



- Las magnitudes que hacen referencia a la imagen son las mismas que las referidas al objeto añadiéndoles el signo <<prima>>
- La luz siempre se propaga de izquierda a derecha
- En la dirección OX , las distancias son positivas hacia la derecha del vértice del sistema óptico, y negativas en caso contrario
- En la dirección OY , las magnitudes medidas por encima del eje óptico son positivas, y las medidas por debajo, negativas

CONSTRUCCIÓN GEOMÉTRICA DE IMÁGENES EN UN ESPEJO PLANO

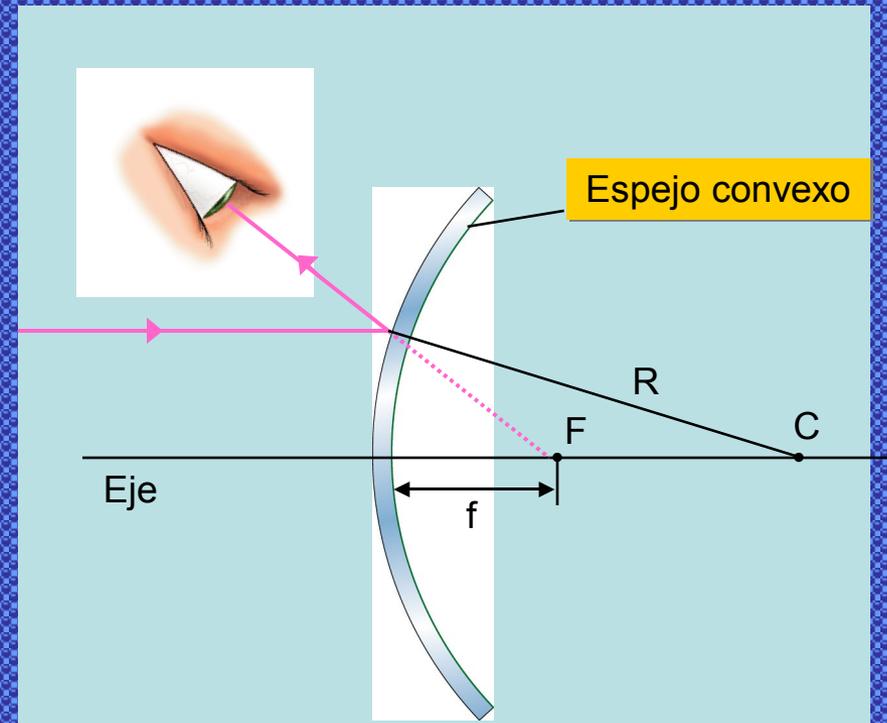
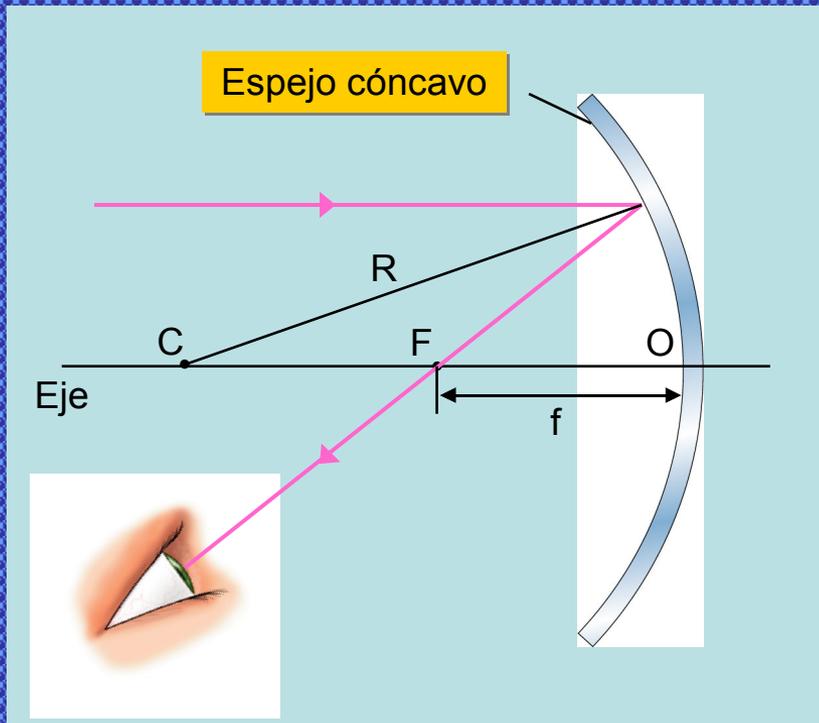


El observador ve la imagen A' de A porque recibe el rayo reflejado en el espejo

- La formación de imágenes en espejos planos se rigen por las **leyes de la reflexión**

La imagen formada por un espejo plano es **virtual y simétrica** respecto al plano del espejo

ESPEJOS ESFÉRICOS



C: Centro de curvatura

R: Radio de curvatura

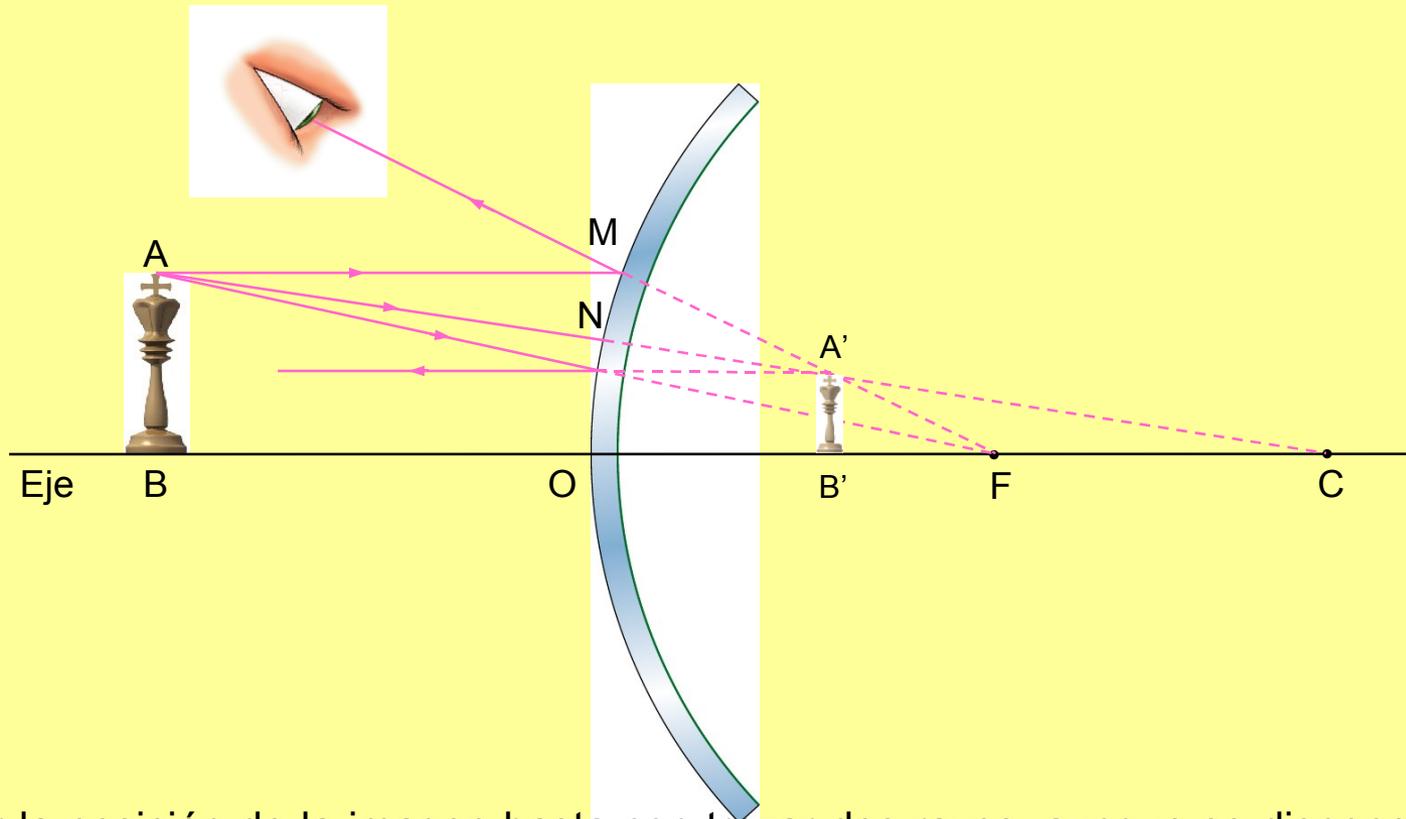
O: Centro del espejo

F: Foco

f: Distancia focal

Eje: Eje principal o eje óptico

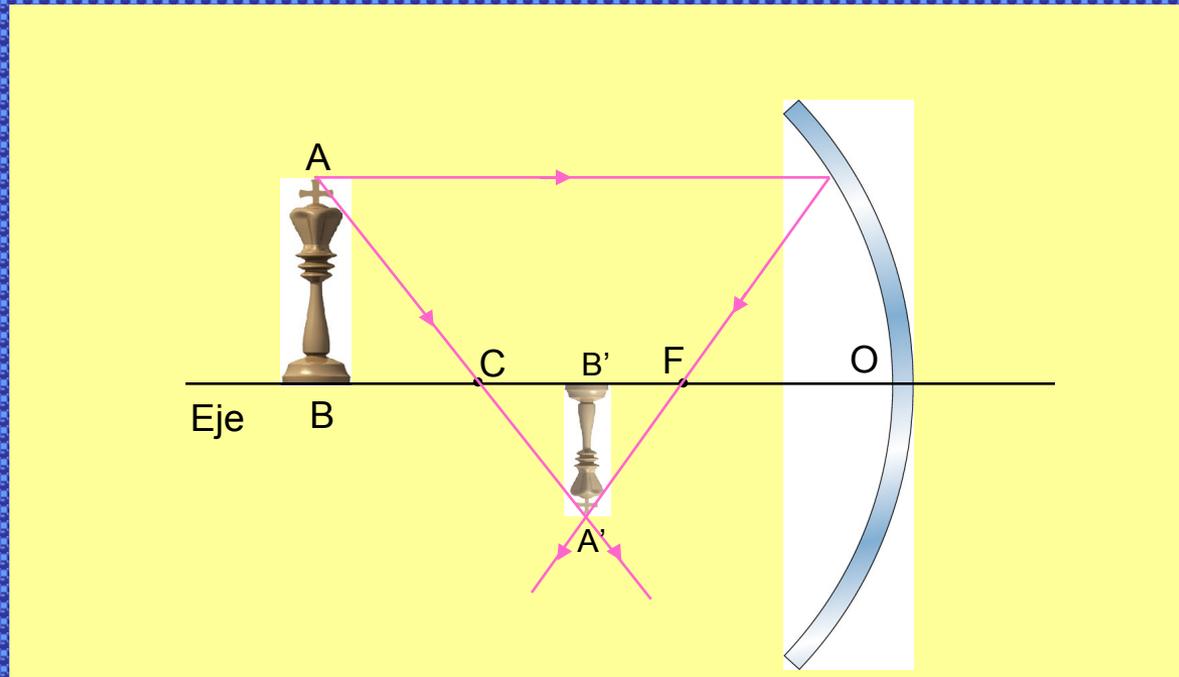
FORMACIÓN DE IMÁGENES EN ESPEJOS ESFÉRICOS



- Para situar la posición de la imagen basta con trazar dos rayos, aunque se dispone de tres fáciles de dibujar:

- El rayo AM: paralelo al eje, se refleja de modo que él o su prolongación pasa por el foco
- El rayo AN: incide normal al espejo, su prolongación pasa por C, y vuelve por la misma dirección
- El rayo AF: dirigido hacia el foco, se refleja paralelo al eje

IMAGEN FORMADA POR ESPEJOS CÓNCAVOS



Si el objeto está situado entre ...

- El infinito y el centro de curvatura, la imagen es **real, invertida y menor** que el objeto
- El centro de curvatura y el foco, la imagen es **real, invertida y de mayor tamaño**
- El foco y el espejo, las prolongaciones de los rayos reflejados forman la imagen **virtual, derecha y de mayor tamaño**

El objeto se sitúa más allá del centro de curvatura

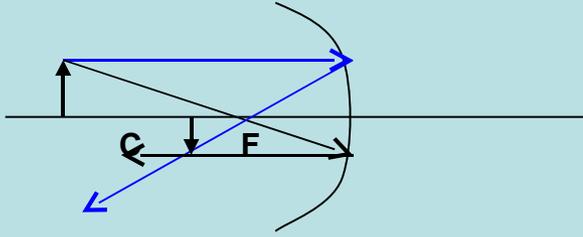


Imagen real invertida y más pequeña que el objeto

El objeto se sitúa entre el centro de curvatura y el foco.

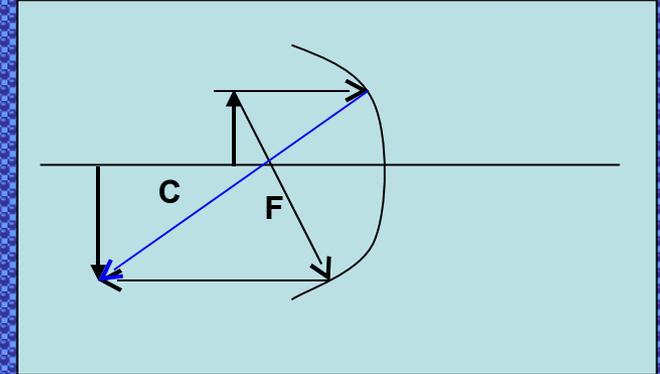


Imagen real, invertida y más grande que el objeto

El objeto se sitúa sobre el centro de curvatura.

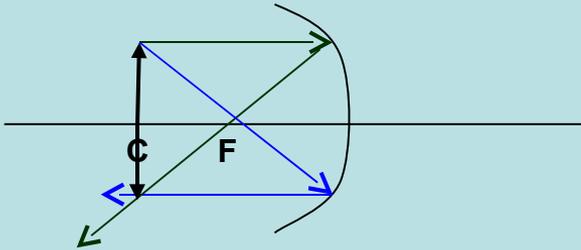


Imagen real invertida y del mismo tamaño que el objeto.

El objeto se sitúa entre el foco y el centro del espejo.

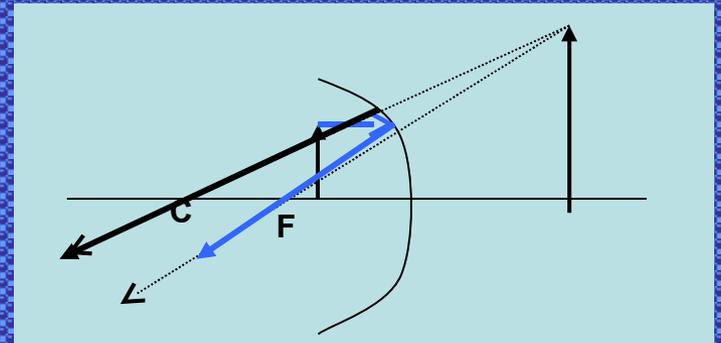
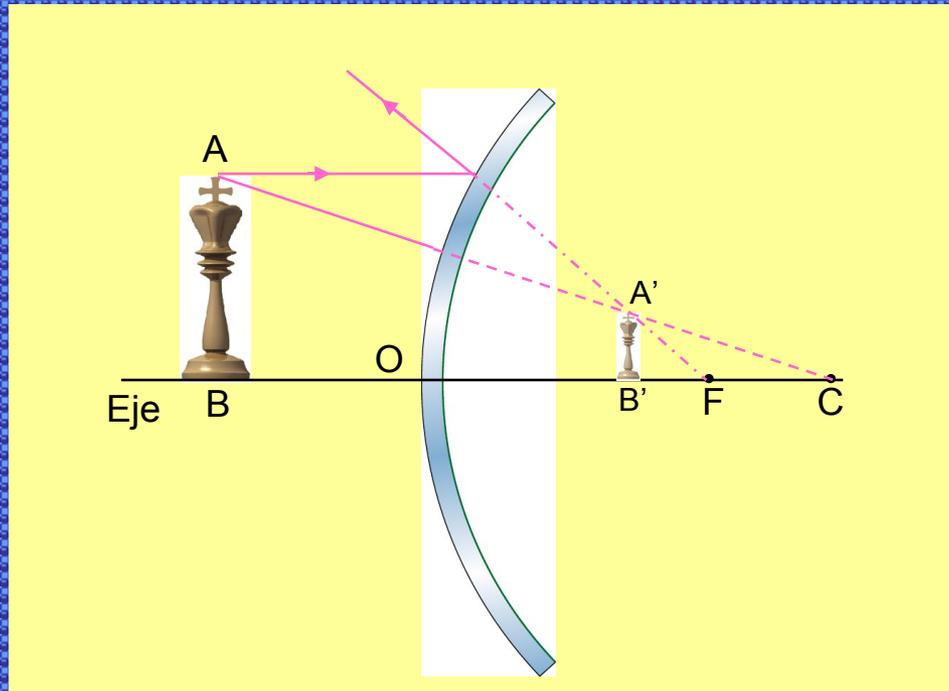


Imagen virtual derecha y más grande que el objeto.

IMAGEN FORMADA POR ESPEJOS CONVEXOS

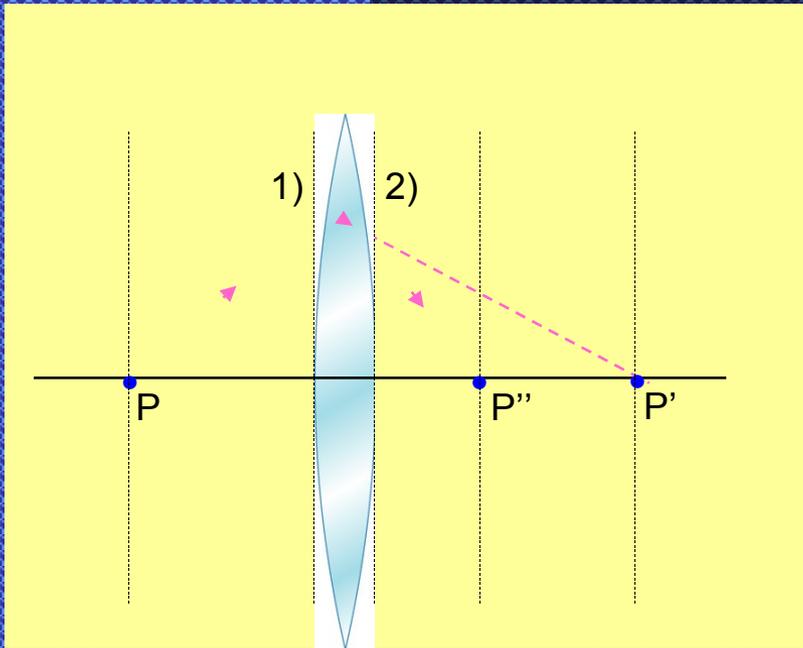


Independientemente del lugar donde se coloque el objeto el espejo convexo siempre produce el mismo tipo de imágenes

- Las imágenes de los objetos son siempre virtuales, derechas y de menor tamaño que el objeto

La imagen es más pequeña cuanto más alejado está el objeto por lo que los espejos convexos amplían el campo de visión y se utilizan en garajes y esquinas.

LENTES DELGADAS



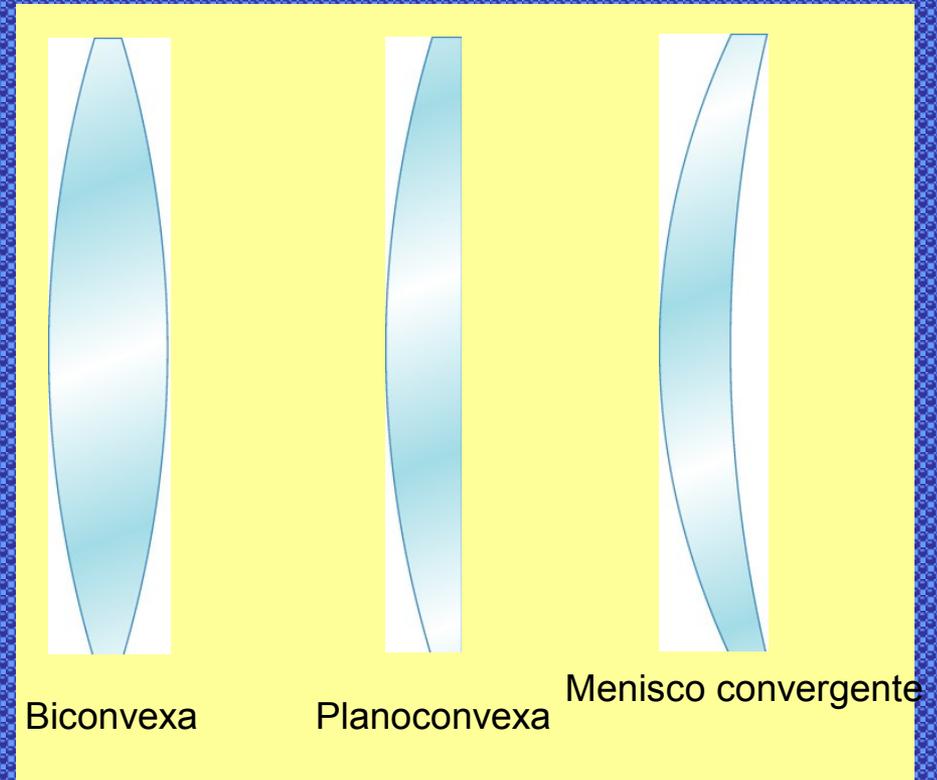
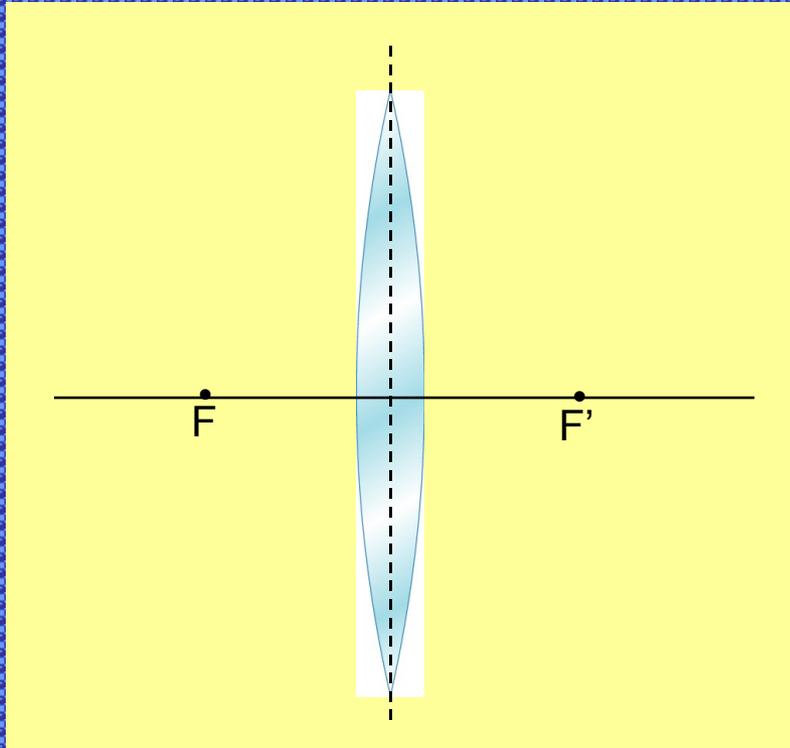
- Una lente es un material transparente limitado por dos superficies esféricas, o por una esférica y una plana

- Una lente puede considerarse como la asociación de dos dioptros

- Si el espesor de la lente en el eje óptico es despreciable frente a los radios de las caras de la lente, la lente se denomina delgada

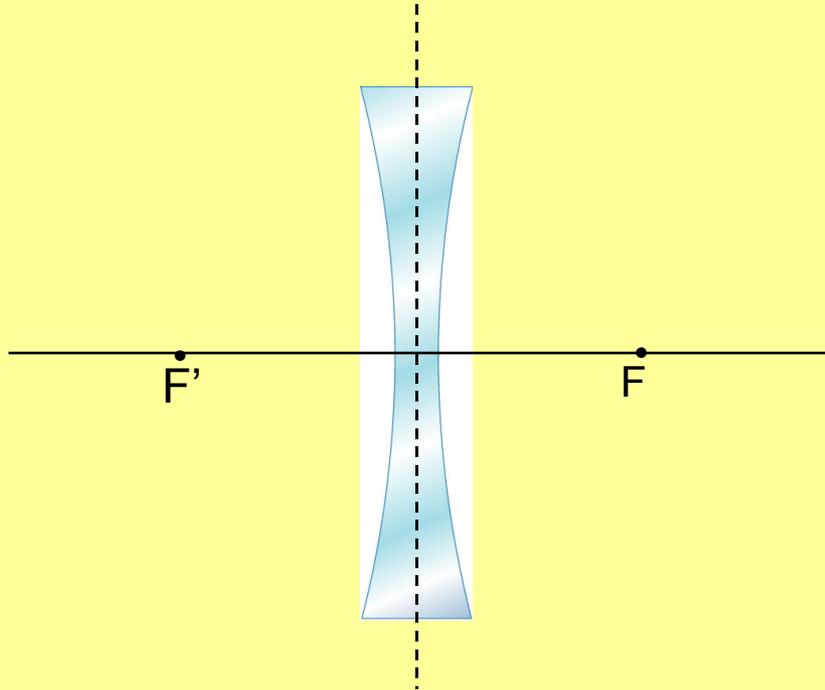
LENTES CONVERGENTES

- Una lente es convergente cuando la distancia focal imagen, f' es positiva

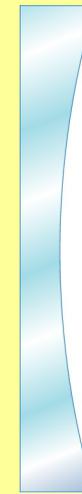


LENTES DIVERGENTES

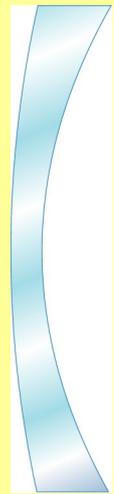
- Una lente es divergente cuando la distancia focal imagen, f' es negativa



Bicóncava



Planocóncava



Menisco divergente

FORMACIÓN DE IMÁGENES EN LENTES

- El comportamiento de las lentes depende de que sean convergentes o divergentes y además, de la situación del objeto con respecto a ellas

- Los puntos situados sobre el eje del sistema, tienen su imagen en éste

- De los infinitos rayos que pasan por un punto A del objeto basta tomar dos que converjan en un punto, que será la imagen A'. Aún así, es fácil dibujar tres rayos:

- El rayo que incide paralelo al eje se desvía y pasa por el foco imagen F'.

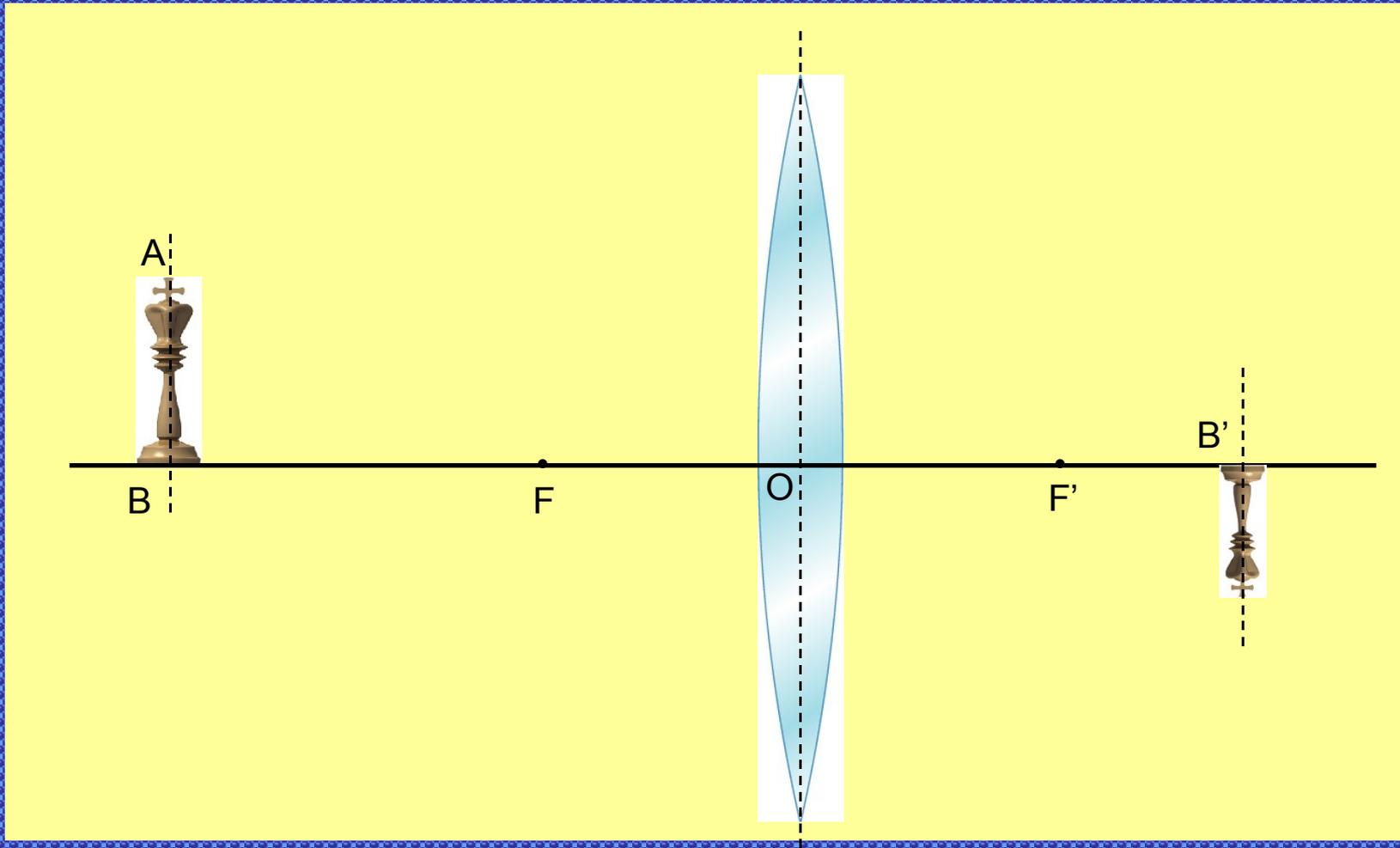
Si la lente es divergente, por F' pasa la prolongación del rayo emergente

- El rayo que pasa por el foco objeto F sale paralelo al eje
- El rayo que pasa por el centro de la lente no sufre desviación

FORMACIÓN DE IMÁGENES CON LENTES CONVERGENTES

OBJETO LEJANO

objeto situado a una distancia de la lente superior a la focal ($s > f$)



Objeto más allá de $2f$:

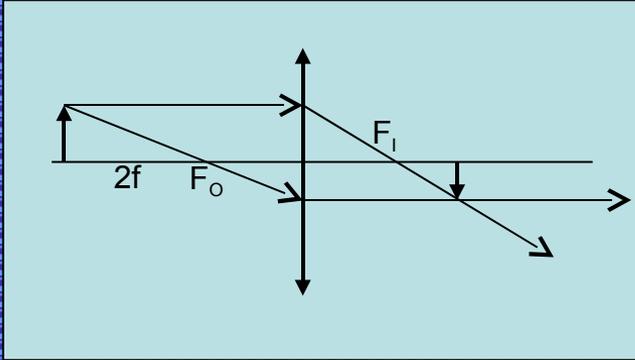


Imagen real, invertida y menor que el objeto

Objeto entre $2f$ y F_o :

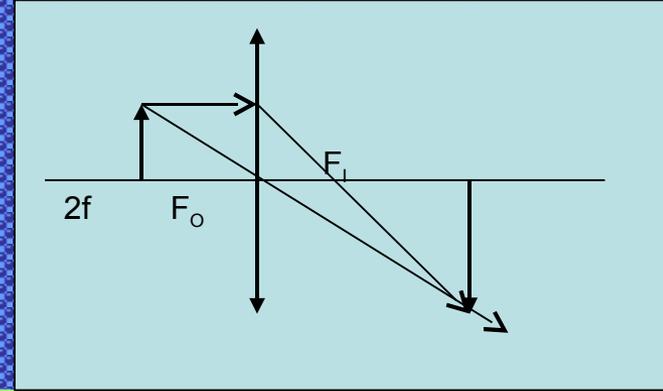


Imagen real, invertida y mayor que el objeto

Objeto en $2f$:

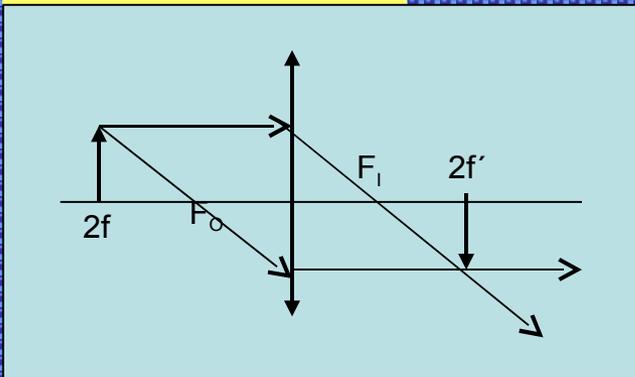


Imagen real invertida, de igual tamaño que el objeto

Objeto entre F_o y S :

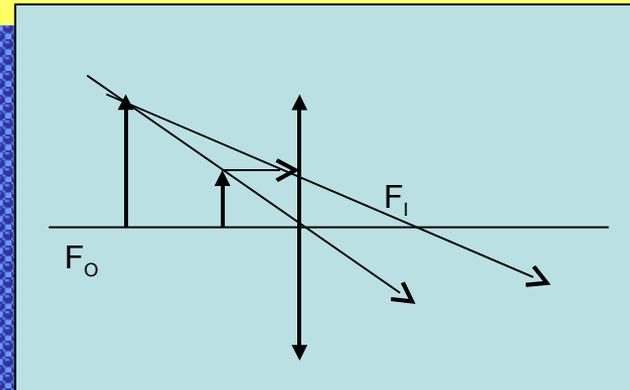


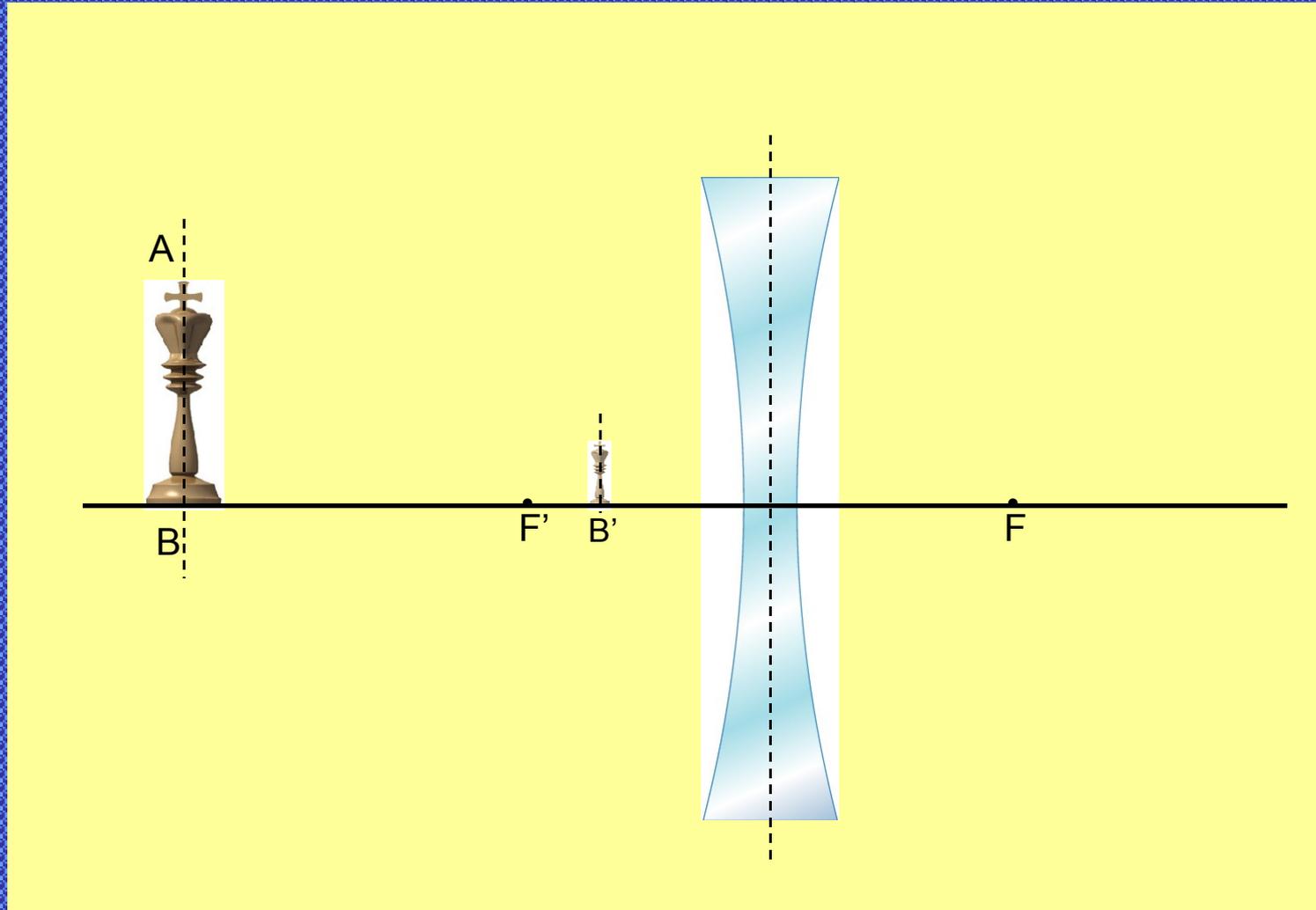
Imagen virtual, derecha y mayor que el objeto

Este es el efecto de las LUPAS que hacen ver los objetos más grandes y como si estuvieran más cerca.

FORMACIÓN DE IMÁGENES CON LENTES DIVERGENTES

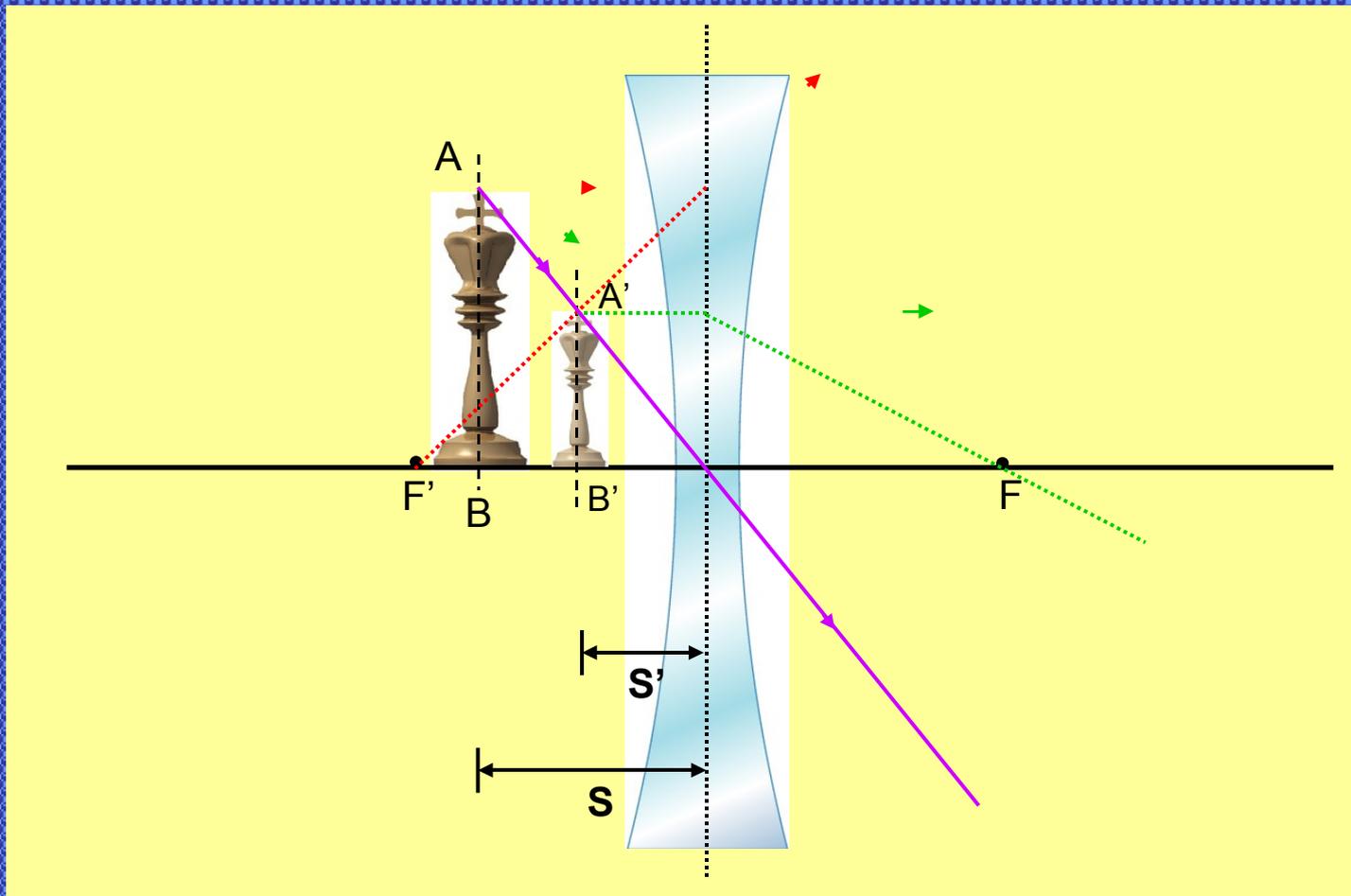
OBJETO LEJANO

objeto situado a una distancia de la lente superior a la focal ($s > f$)



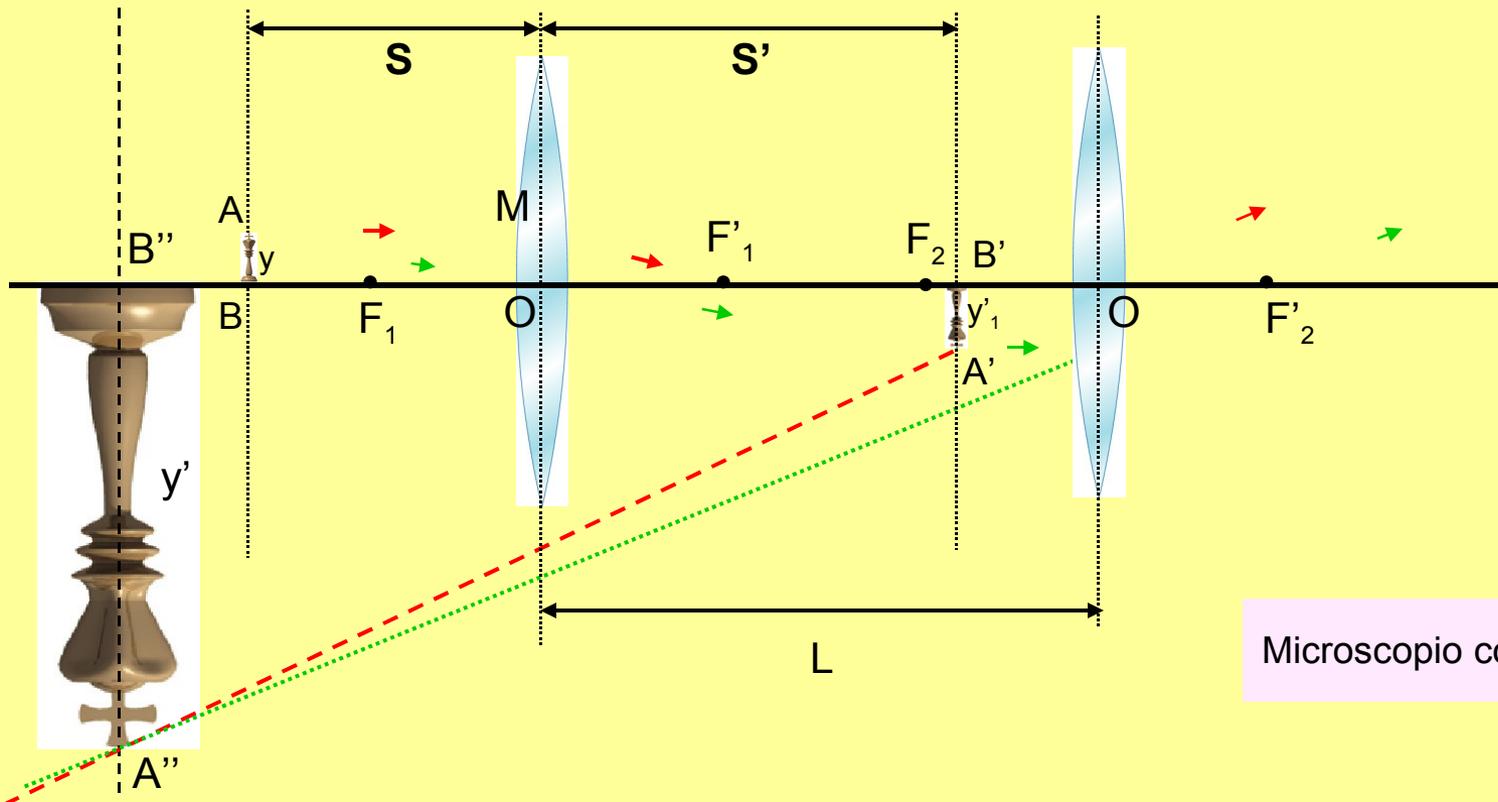
OBJETO ENTRE EL FOCO Y LA LENTE

$(s < f)$



COMBINACIÓN DE LENTES

- La imagen formada por la primera y'_1 hace de objeto para la segunda, que produce la imagen final y'



Microscopio compuesto

El aumento total es el cociente entre el tamaño de la imagen final y el del objeto

El microscopio está formado por dos lentes convergentes llamadas objetivo y ocular. Sirve para aumentar el tamaño con que se ven los objetos pequeños y poder verlos mejor.

La primera lente (objetivo) tiene una distancia focal pequeña, la segunda lente (ocular) tiene una distancia focal mucho mayor. A la distancia entre el foco imagen del objeto F'_1 y el foco objeto del ocular F_2 se le llama **L = longitud del tubo del microscopio**.

$$A = -\frac{25L}{f_1 f_2}$$

A es el aumento, va todo en **cm** y viene indicado en los microscopios como x10, x50 x100, etc.

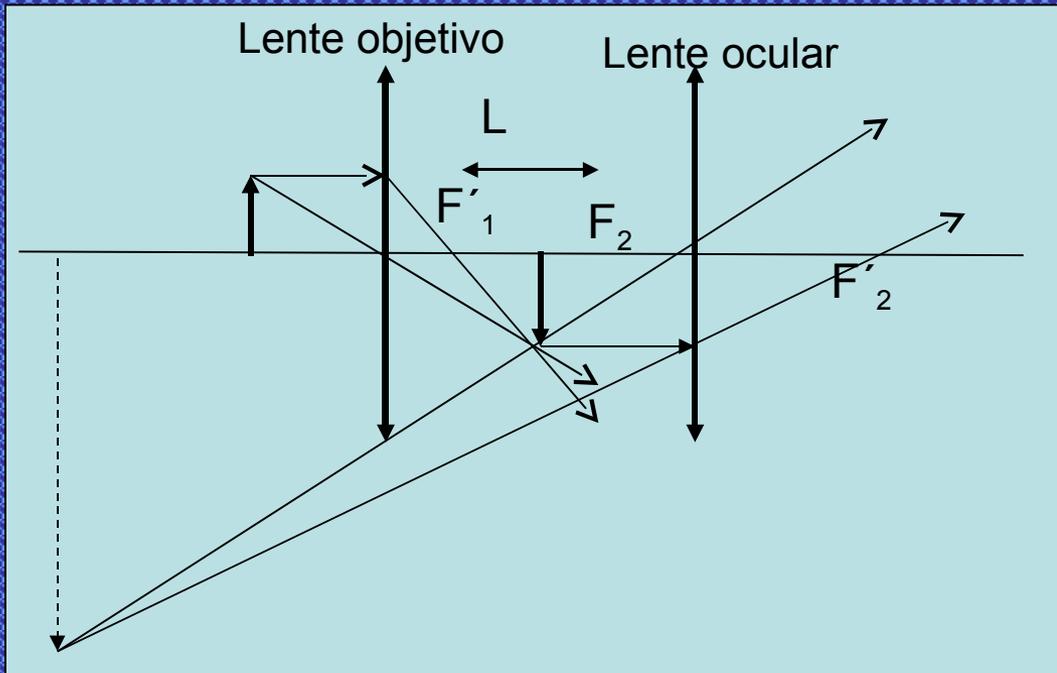
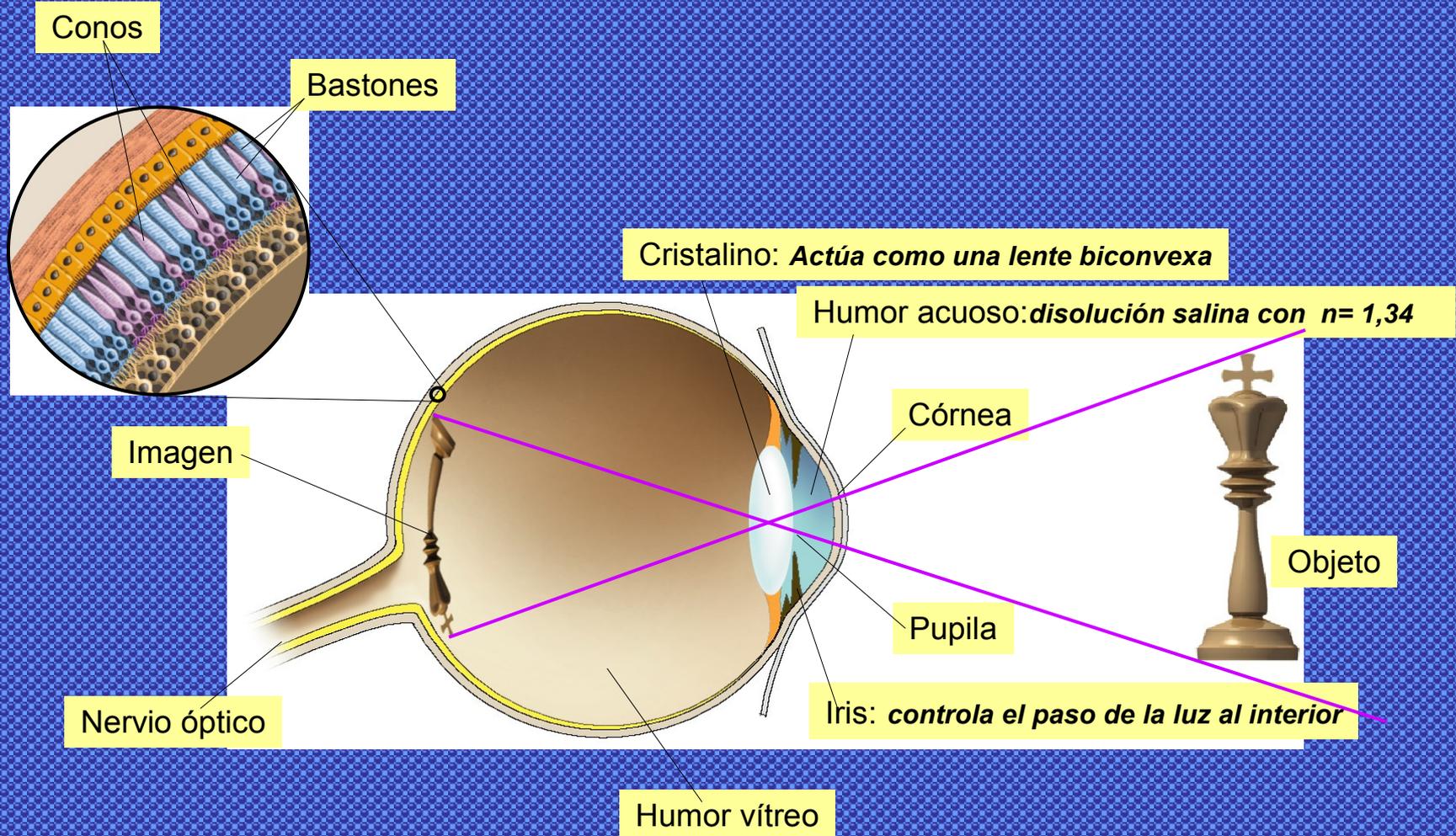


Imagen virtual, invertida y mucho más grande que el objeto

ÓPTICA DE LA VISIÓN

El interior del ojo humano está formado por una serie de medios transparentes a la luz donde pueden aplicarse las leyes de la óptica geométrica



- El cristalino es una lente deformable que hace posible la visión a distintas distancias

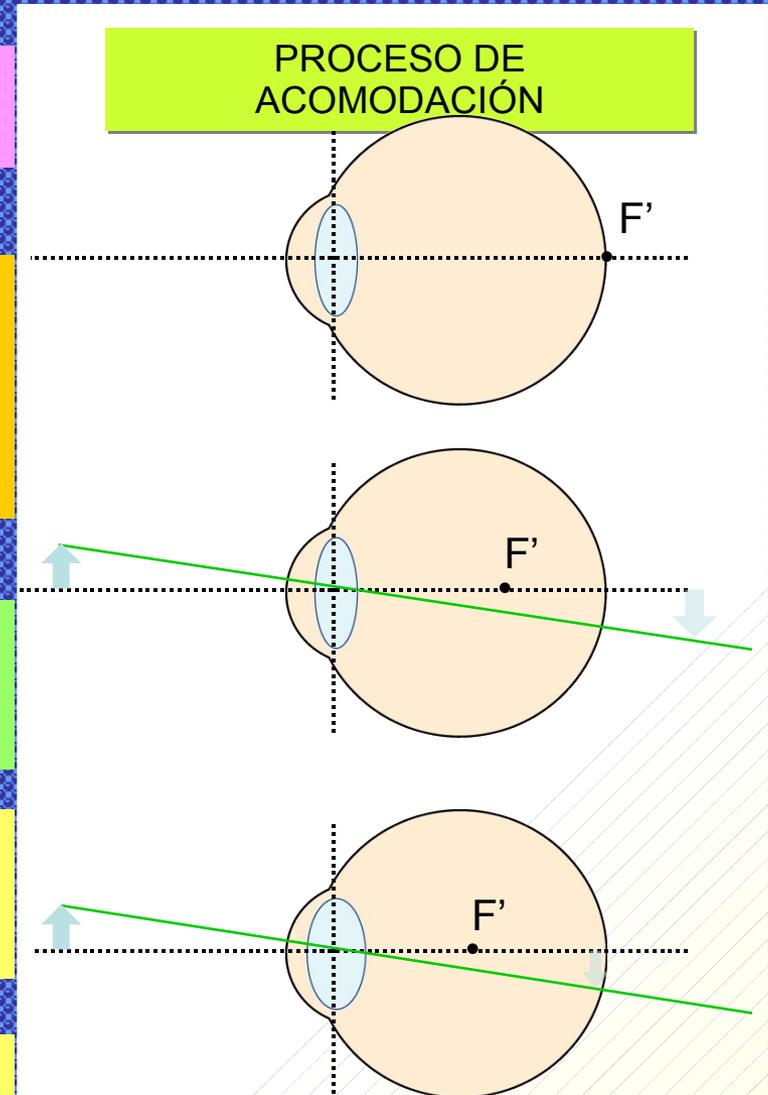
- Cuando el objeto que se pretende ver está en el infinito, el cristalino se encuentra en reposo

- Al acercarse el objeto, los músculos ciliares comprimen el cristalino aumentando su radio de curvatura y reduciendo su distancia focal, permitiendo que siempre se formen las imágenes a la misma distancia: en la retina

- Este proceso denominado acomodación, está limitado por la elasticidad del cristalino y es involuntario

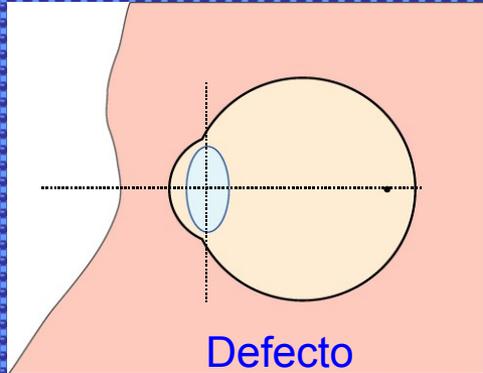
- El punto próximo es el más cercano al ojo en el que puede colocarse un objeto para ser visto con nitidez

- El punto remoto es el más alejado donde se puede observar con nitidez un objeto

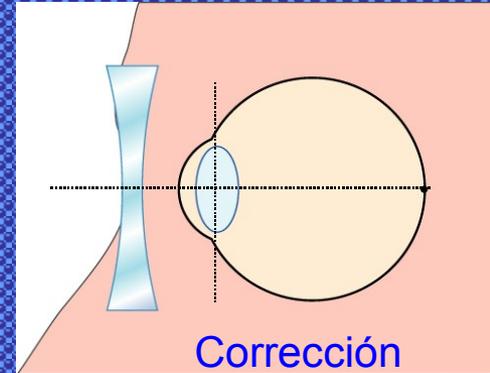


DEFECTOS DE LA VISIÓN

MIOPÍA

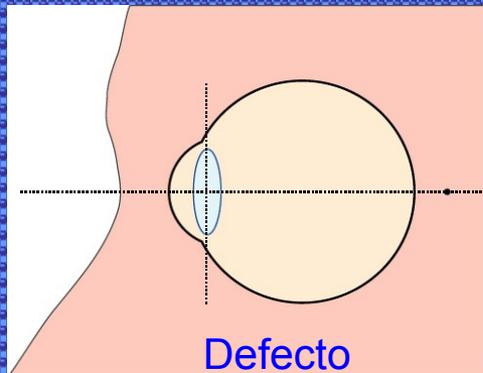


La imagen se forma por delante de la retina

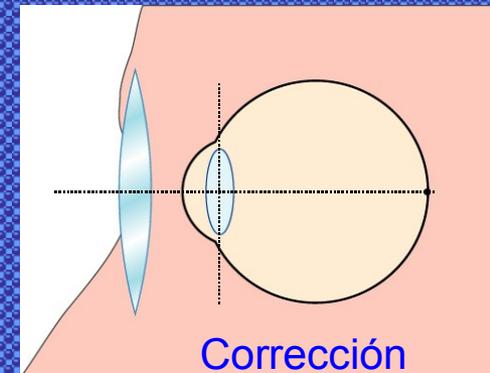


Mediante una lente divergente se consigue un enfoque correcto

HIPERMETROPÍA



La imagen se forma por detrás de la retina



Mediante una lente convergente se consigue un enfoque correcto