

**2º BACHILLERATO**

**FÍSICA**

**TEMA 3**

**ÓPTICA**

### 3.1. Introducción

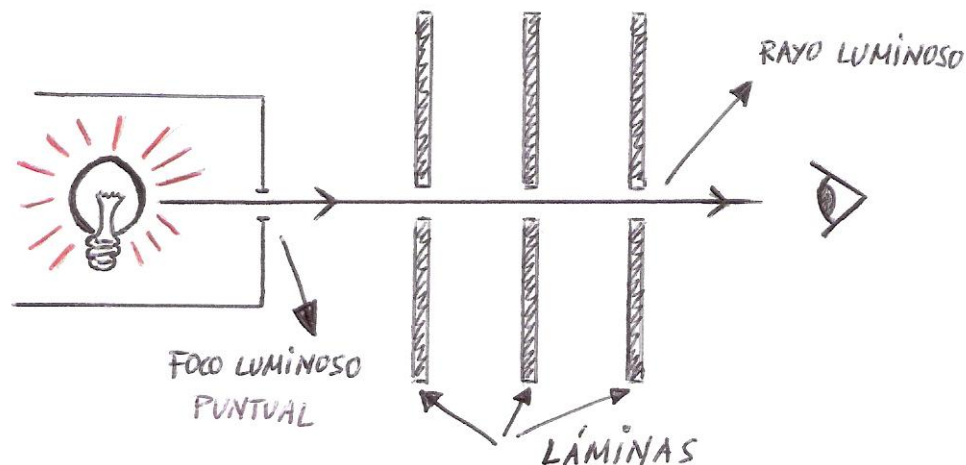
La óptica es la ciencia que estudia los fenómenos relacionados con la *luz*. Estos fenómenos pueden ser estudiados basándose en la naturaleza íntima de la luz ( *óptica física* ), o fijándose únicamente en su propagación rectilínea ( *óptica geométrica* ).

### 3.2. Propagación de la luz

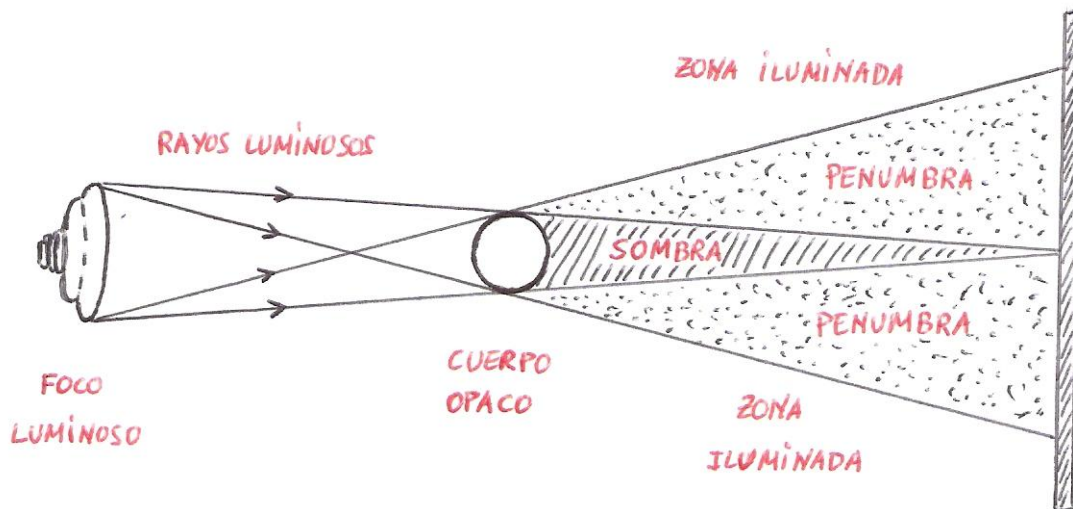
#### 3.2.1. Propagación rectilínea de la luz

Para todas las aplicaciones de índole práctica la luz parece propagarse en *línea recta* en cualquier medio homogéneo y transparente.

Así, por ejemplo, si observamos un foco luminoso puntual mediante una serie de láminas de cartón con un orificio central comprobaremos que sólo vemos el foco luminoso cuando los orificios están en línea recta. Si desplazamos lateralmente uno de esos orificios, el foco deja de ser visible.



Cuando tenemos un foco luminoso no puntual, y colocamos un cuerpo opaco, se observa detrás de él la formación de una zona de *sombra*, donde no llega ningún rayo de luz; una zona de *penumbra*, donde llegan solamente algunos rayos de luz; y una zona *iluminada*, donde llegan todos los rayos de luz.



Un *eclipse de Sol* ocurre cuando la Tierra se mueve dentro de la zona de sombra ( *eclipse total* ), o de penumbra ( *eclipse parcial* ), proyectada por la Luna al ser iluminada por el Sol.

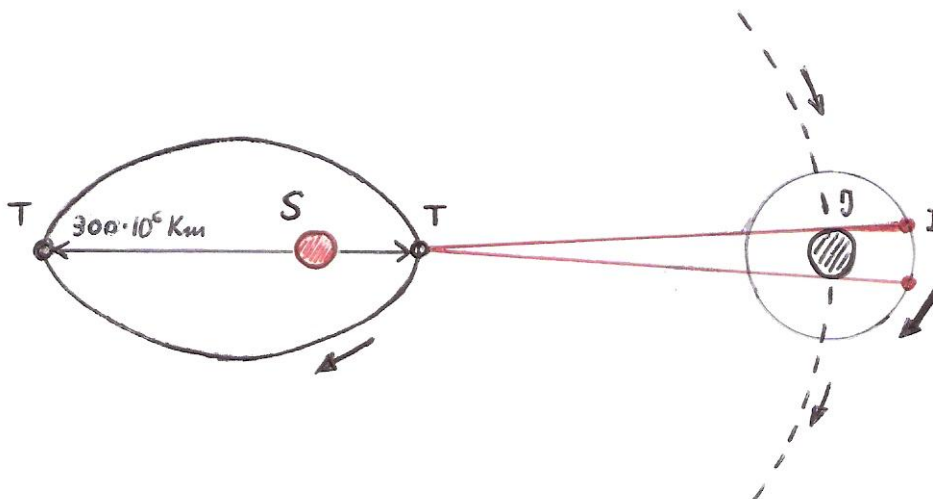
### 3.2.2. Velocidad de propagación de la luz

Durante muchos años se pensó que la luz se propagaba con *velocidad infinita*, es decir, instantáneamente, cosa comprensible si tenemos en cuenta que dicha velocidad era incomparablemente mayor a todas las conocidas.

La velocidad de la luz en el vacío o en el aire, es de :

$$c = 299792 \text{ Km/s} \approx 300000 \text{ Km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

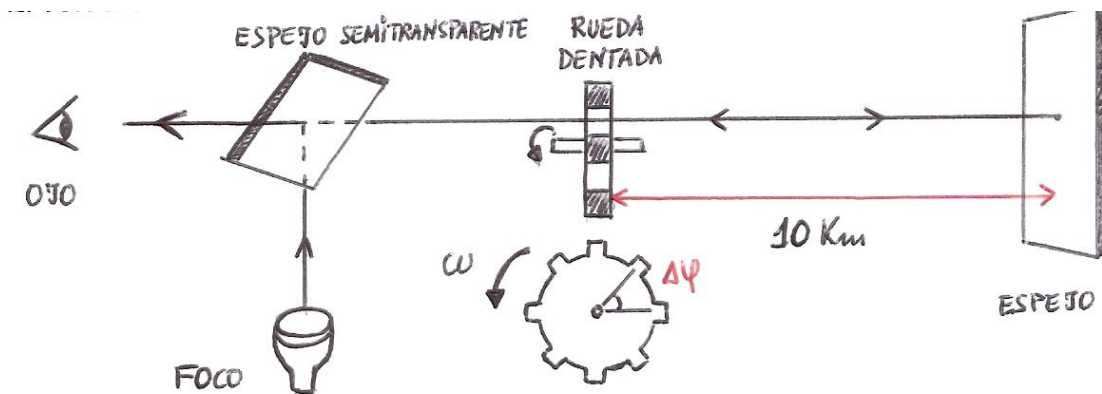
Röemer, en 1675, fue el primero en medir la velocidad de la luz, mediante un *método astronómico*, en concreto, fue a partir de la observación de los eclipses que se producían en los satélites de Júpiter, cuando la Tierra estaba lo más próxima y lo más alejada del Sol.



Observó un retraso en la ocultación de aproximadamente 1300 segundos y sabiendo que el diámetro de la órbita de la Tierra es aproximadamente 300 millones de kilómetros, tenemos:

$$c = \frac{300000000 \text{ km}}{1300 \text{ s}} = 231\,000 \text{ Km/s}$$

Fizeau, en 1849, ideó otro método, en éste caso un *método directo*, para medir la velocidad de la luz.



En concreto hizo incidir un rayo de luz sobre una rueda dentada, y detrás, a una distancia de 10 Km, colocó un espejo para que se reflejara y volviera a la rueda dentada, de tal forma, que se encontrara con la siguiente abertura de la rueda. Conociendo la velocidad de giro ( $\omega$ ) de la rueda y el ángulo descrito ( $\Delta\phi$ ), se puede calcular el tiempo ( $t$ ) que tardó la luz en recorrer la distancia ( $\Delta e$ ) de 2.10 Km. La velocidad de la luz será pues:

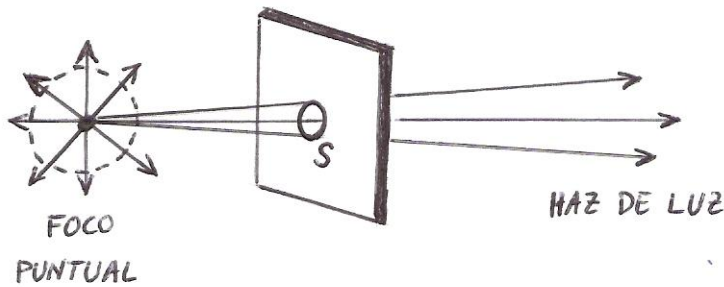
$$\Delta t = \frac{\Delta\phi}{\omega} \quad \text{luego: } v = \frac{\Delta e}{\Delta t} = 313\,000 \text{ Km/s}$$

El valor obtenido fue ligeramente mayor que el valor que aceptamos hoy en día. Después de Römer y Fizeau se utilizaron distintos métodos que han llevado al valor definitivo de  $c = 299792 \text{ Km/s}$ .

### 3.3. Reflexión de la luz

#### 3.3.1. Definición de rayo de luz

Imaginemos un foco puntual (*punto luminoso*), emisor de luz en todas las direcciones; si ante él colocamos una lámina opaca con un orificio de superficie **S** habremos seleccionado un *haz de luz*.

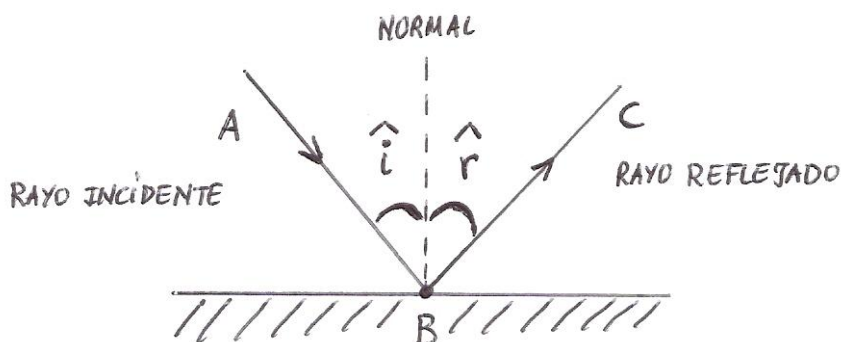


Si, con nuestra imaginación, disminuimos las dimensiones del orificio, haciendo a su superficie **S** menor que cualquier superficie, por pequeña que sea, en el límite, habremos aislado un *rayo de luz*, definido como *cada una de las direcciones de propagación de la energía radiante*.

### 3.3.2. Leyes de la reflexión de la luz

La reflexión, es el retorno de la luz por el mismo medio en que se propagaba, al llegar a la superficie de separación de dos sustancias distintas.

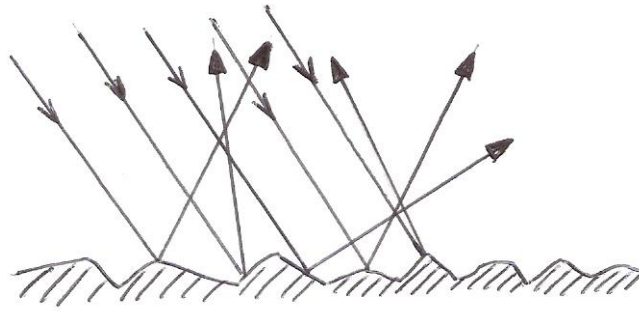
La *reflexión de la luz* cumple las siguientes leyes:



1. - El *rayo incidente* (AB), el *rayo reflejado* (BC) y la *normal* están en un mismo plano.
2. - El *ángulo de incidencia* ( $\hat{i}$ ) y el *ángulo de reflexión* ( $\hat{r}$ ) son iguales.

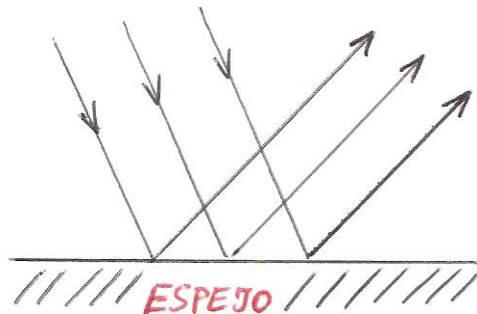
### 3.3.3. Reflexión difusa y dirigida

En las superficies *mates*, por ejemplo en el papel, al encontrar los rayos rugosidades (para nosotros imperceptibles en ocasiones) son reflejados en *todas las direcciones*, viéndose entonces, los cuerpos regularmente iluminados.



A este fenómeno, que presentan el papel, el yeso, la nieve, etc., se llama **difusión de la luz**. La *reflexión difusa* nos permite ver los objetos desde cualquier ángulo.

Si la superficie reflectora es *lisa*, de forma que las irregularidades que presenta son menores que la *longitud de onda* de la luz que llega a ella, entonces los rayos luminosos incidentes salen a su vez reflejados paralelamente y en una misma dirección.

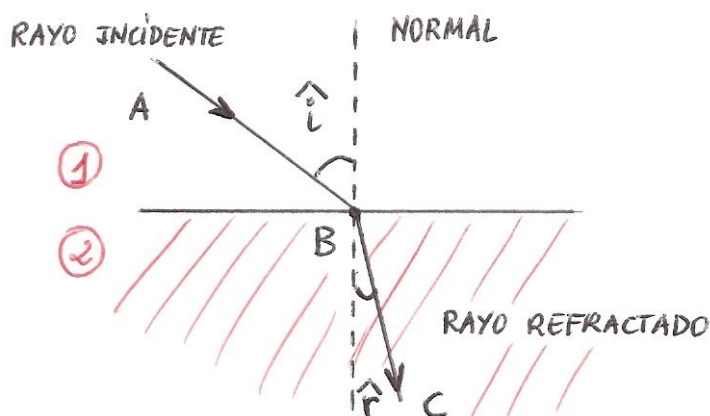


En este caso, al fenómeno que se produce se la llama **reflexión especular** o **dirigida**. Una superficie de estas características recibe el nombre de **espejo**.

### 3.4. Refracción de la luz

#### 3.4.1. Leyes de la refracción de la luz

La refracción es el cambio de velocidad que experimenta la luz al pasar de un medio a otro. Este cambio de velocidad se manifiesta por una variación en la dirección de propagación, en todos los casos, excepto cuando el rayo incidente es normal a la superficie de separación de los medios.



Las leyes que cumple la *refracción de la luz* son las siguientes:

1. - El *rayo incidente* (AB), el *rayo refractado* (BC) y *la normal* están en un mismo plano.
2. - La relación entre los *senos* de los *ángulos de incidencia y refracción* es una cantidad constante, llamada **índice de refracción**  $n_{2,1}$  del segundo medio con relación al primero.

$$\frac{\text{sen}\hat{i}}{\text{sen}\hat{r}} = n_{2,1}$$

(Mirar diagrama de rayos para explicar porqué se ve el fondo de una piscina aparentemente menos profundo de lo que es en realidad).

### 3.4.2 Índice de refracción absoluto e índice de refracción relativo

El **índice de refracción absoluto** de una sustancia (  $n$  ), es el cociente de dividir la *velocidad de la luz en el vacío* (  $c$  ) y la *velocidad que tiene la luz en esa sustancia* (  $v$  ).

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

Como ya veremos, la luz blanca, es un conjunto de radiaciones con distintas longitudes de onda (  $\lambda$  ) que van desde el violeta hasta el rojo (ver fotocopia). Mientras que en el vacío la velocidad de la luz *es la misma para todas las radiaciones luminosas*, si se trata de un medio material esta velocidad depende de la longitud de onda de la radiación luminosa correspondiente. La frecuencia (  $f$  ) de una onda luminosa viene determinada por su fuente y no se ve afectada por el medio. Por tanto, como  $v = \lambda \cdot f$  , al variar la longitud de onda variará también la velocidad.

Luego como  $n = c / v$  , **el índice de refracción absoluto de una sustancia depende de la longitud de onda de la radiación luminosa.**

Ahora bien, las variaciones de  $n$  para las distintas radiaciones luminosas suele ser muy pequeña. Normalmente se suelen indicar los valores de los *índices de refracción absolutos* para la longitud de onda correspondiente a la luz amarilla del sodio (  $\lambda = 5890 \text{ \AA}$  ). ( 1 Angstrom =  $10^{-10} \text{ m}$  )

Los índices de *refracción absolutos* de algunas sustancias para esta longitud de onda, son los siguientes:

Vacío .....	1
Aire .....	1
Agua .....	1,333
Vidrio .....	1,460 - 1,960
Diamante .....	2,417

El **índice de refracción relativo** del segundo medio respecto del primero es el cociente entre sus respectivos *índices de refracción absolutos*.

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

Luego la fórmula de *Snell* de la refracción se puede escribir:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Donde  $n_1 \text{ sen } \hat{i} = n_2 \text{ sen } \hat{r}$  se denomina *invariante de la refracción*.

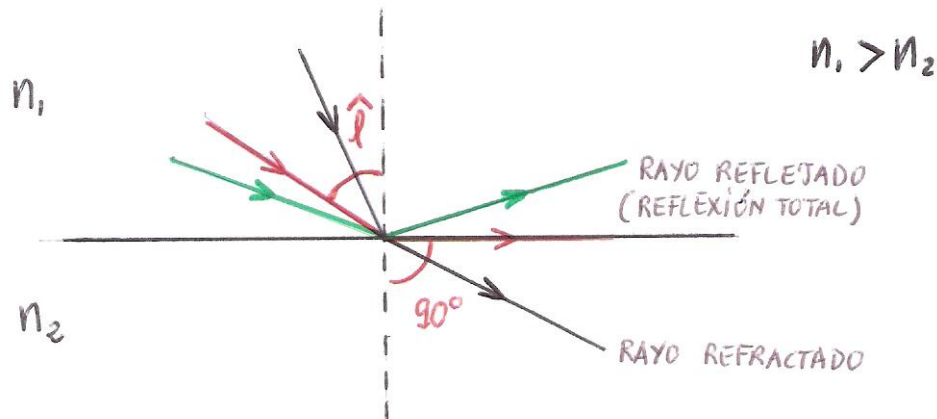
Si la luz pasa de un medio a otro de mayor índice de refracción (*más refringente*), el *rayo refractado se acerca a la normal*. En efecto: Si  $n_2 > n_1$  ocurre que  $\text{sen } \hat{i} > \text{sen } \hat{r}$  y por tanto  $\hat{i} > \hat{r}$ .

En caso contrario, cuando la luz pasa de un medio a otro menos *refringente*, el *rayo refractado se aleja de la normal*. Si  $n_2 < n_1$  entonces ocurre que  $\text{sen } \hat{i} < \text{sen } \hat{r}$  y por tanto  $\hat{i} < \hat{r}$ .

Por último señalar que cuando la luz incide sobre la superficie de separación de dos medios diferentes, parte de la *energía luminosa se refleja* y parte se *refracta*.

### 3.4.3 Ángulo límite y reflexión total. Espejismos

Acabamos de ver que cuando un rayo de luz pasa de un medio más *refringente* a otro de menor refringencia, dicho rayo se *aleja* de la normal. En este caso, llegará un momento en que a un determinado *ángulo de incidencia*  $\hat{i}$  corresponderá un *ángulo de refracción* de  $90^\circ$  y, entonces, el rayo refractado saldrá *rasante* con la superficie de separación de ambos medios.



Para un ángulo de incidencia mayor, el ángulo de refracción será mayor de  $90^\circ$  y el rayo propiamente no será *refractado*, sino *reflejado*, es decir la superficie de separación se comportará como un *espejo*. A este fenómeno se le denomina **reflexión total** y al ángulo de incidencia que corresponde a un ángulo de refracción de  $90^\circ$  se le llama **ángulo límite** ( $\hat{i}$ ).

Aplicando la ley general de la refracción para este *ángulo límite* tendremos:

$$\frac{\text{sen} \hat{i}}{\text{sen} \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}$$

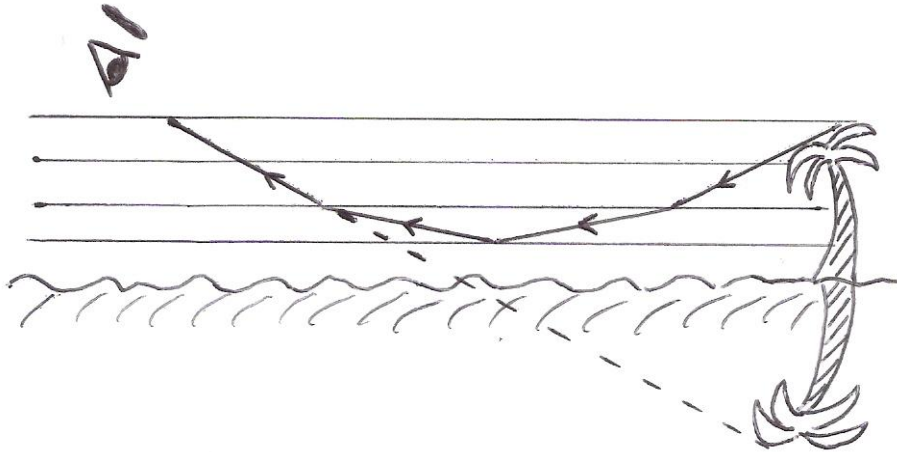
$$\text{sen} \hat{r} = \text{sen} 90^\circ = 1 \quad \text{luego:}$$

$$\boxed{\text{sen} \hat{i} = \frac{n_2}{n_1}}$$

El fenómeno de *reflexión total* es el responsable de los llamados **espejismos** de los desiertos. Debido a la gran irradiación de calor por parte del suelo las capas de aire próximas a éste se encuentran más calientes que las altas, en contra del comportamiento normal.

El aire frío propaga la luz a menor velocidad que el aire caliente, luego ésta pasa de un medio más refringente a otro menos refringente, produciéndose el fenómeno de *reflexión total*.

Al ir pasando la luz de una capa a otra los rayos experimentan sucesivas refracciones, siendo cada vez mayor el ángulo de incidencia, hasta producirse la *reflexión total*.



### 3.5. **Dispersión de la luz**

#### 3.5.1. Definición de luz monocromática y luz blanca

**Luz monocromática** es la formada por radiaciones de una sola longitud de onda ( color de la luz ).

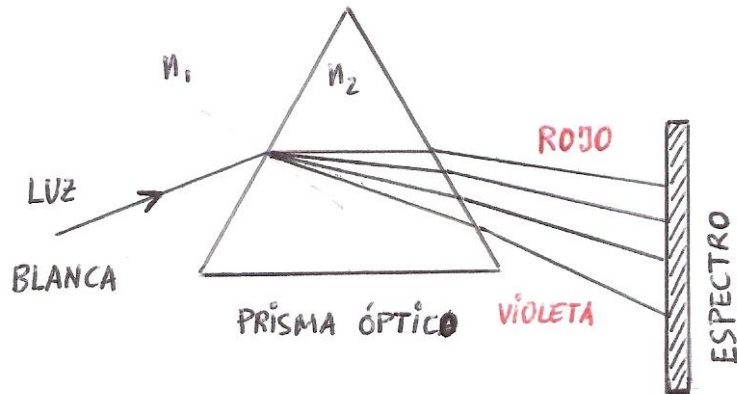
**Luz blanca** (*policromática* ) es la que está integrada por luces monocromáticas de longitudes de onda comprendidas entre los *límites de visibilidad*.

$\lambda$  :             $7,8 \cdot 10^{-7}$  m .....  $3,8 \cdot 10^{-7}$  m

*Luz monocromática: roja, anaranjada, amarilla ..... azul, añil, violeta*

#### 3.5.2. Dispersión de la luz. Arco iris.

El índice de refracción absoluto de una sustancia depende de la *longitud de onda* de la radiación monocromática que penetre ( como ya vimos en un apartado anterior ); si la luz blanca ( policromática ) penetra por ejemplo en un *prisma óptico* ( medio transparente, generalmente vidrio, delimitado por planos que se cortan formando un prisma de base triangular ), se descompone en sus *colores* debido a la distinta refracción de sus *luces monocromáticas*.



La luz monocromática de *mayor longitud de onda* ( roja ) es la que menos se desvía en el prisma óptico:

$$n_2 = \frac{c}{v} = \frac{c}{\lambda f} \quad \lambda \uparrow \quad n_2 \downarrow \quad \text{y como :}$$

$$n_1 \cdot \sin \hat{i} = n_2 \cdot \sin \hat{r} \quad n_2 \downarrow \quad \hat{r} \uparrow$$

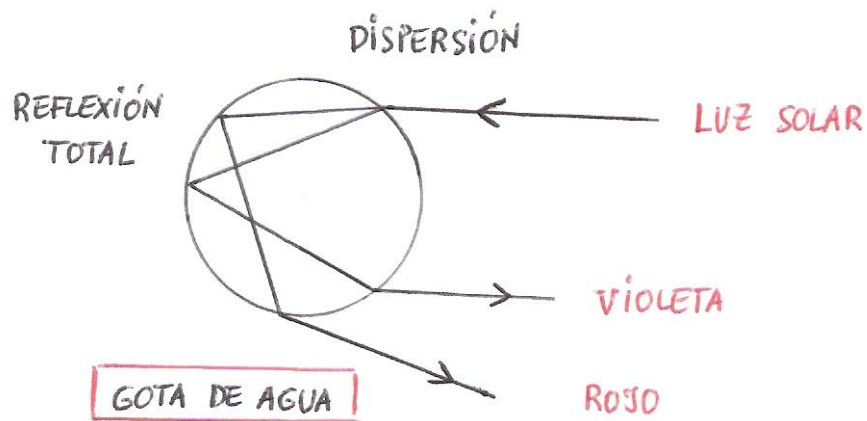
La luz monocromática *menor longitud de onda* ( violeta ) es la que más se desvía en el prisma óptico.

A este fenómeno por el cual la luz blanca se descompone en sus *colores simples* se denomina **dispersión de la luz**.

Al conjunto de luces que aparecen en el haz dispersado se le llama **espectro visible**.

Una ilustración muy espectacular de la *dispersión de la luz* es el **arco iris**. Las condiciones para ver un *arco iris* son que el Sol brille en una parte del cielo y que caiga lluvia en la parte opuesta. Cuando nos colocamos con el Sol a nuestras espaldas, vemos el *espectro de colores* formando un arco. Los colores son *dispersados* de la luz blanca del Sol por millares de gotas diminutas que actúan como prismas.

Al incidir la luz solar en las gotas de agua, experimenta el fenómeno de la *dispersión* y de la *reflexión total*, y al llegar al ojo del observador impresiona su retina con diversos matices policromáticos.



### 3.5.3. Espectroscopia

Los aparatos que tienen por objeto la obtención de un *espectro*, se denominan **espectroscopios**. El *espectroscopio* más sencillo es el *prisma óptico*.

Los *espectros* los podemos clasificar:

		CONTINUOS
	DE EMISIÓN ¶	
ESPECTROS ¶		DISCONTINUOS
	DE ABSORCIÓN ¶	DISCONTINUOS

Los **espectros de emisión**, son producidos por la luz emitida por las sustancias, pueden ser *continuos* y *discontinuos*; los primeros son una sucesión de colores sin límites claramente definidos entre cada color, como el espectro de la luz blanca; son producidos por los sólidos y líquidos incandescentes. Los *espectros discontinuos* están formados por una serie de *rayas brillantes* coloreadas sobre fondo negro, situadas en determinadas zonas y que es característico de la sustancia que emite; son producidos por los gases al calentarlos.

Los **espectros de absorción**, se producen al intercalar una sustancia entre una fuente emisora de luz y un prisma óptico, se observa que aparecen en el espectro ciertas rayas oscuras sobre el espectro continuo de la luz incidente, debido a que la energía que les corresponde ha sido absorbida por la sustancia.

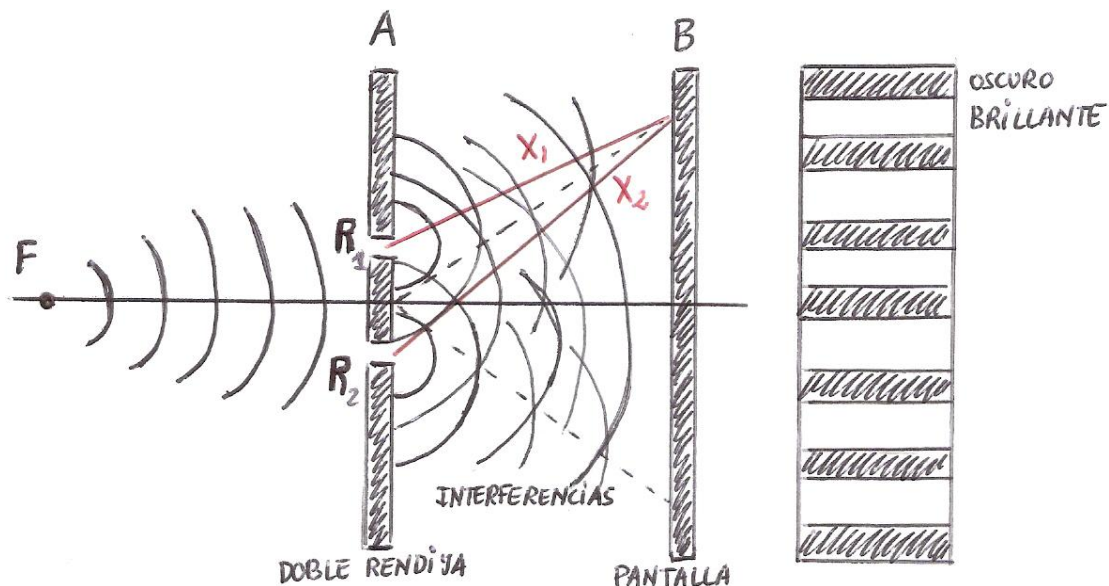
El estudio de los *espectros continuos* dio lugar a una revolución dentro del mundo de la física, como veremos más adelante (emisión de energía de un *cuerpo negro*).

El estudio de los *espectros discontinuos*, dio lugar al mejor conocimiento de la constitución de la materia ( átomo de Bohr ), así como al llamado *análisis espectral*, que permite identificar a las sustancias por su espectro característico.

Hablar de las rayas de Fraunhofer.

### 3.6. Interferencia de ondas luminosas. Experiencia de Young de la doble rendija

Un procedimiento para lograr interferencias luminosas es el llevado a cabo en 1801 por el físico Thomas Young. Este experimento confirmó el modelo ondulatorio de la luz y permitió a Young realizar la medida de su *longitud de onda*.



El experimento consiste en disponer de una fuente de luz monocromática  $F$  que ilumina una pantalla  $A$  que contiene dos rendijas  $R_1$  y  $R_2$ . Las rendijas actúan como focos emisores y las ondas producidas que emergen de éstas son *coherentes*, ya que proceden de la misma fuente luminosa.

Las ondas interfieren produciendo un *patrón de interferencia* en la pantalla  $B$ . Aquí se aprecian una serie de franjas brillantes y oscuras paralelas.

Las *franjas brillantes* se deben a la *interferencia constructiva* de las ondas por haber alcanzado la pantalla  $B$  en fase. En este caso, se cumple:

$$x_2 - x_1 = n \lambda \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Las *franjas oscuras* se deben a la *interferencia destructiva* de las ondas que alcanzan la pantalla  $B$  en oposición de fase. En este caso, se cumple:

$$x_2 - x_1 = (2n + 1) \lambda / 2 \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

### 3.7. Naturaleza de la luz

Filósofos y físicos se han preocupado durante muchos años acerca de la naturaleza de la luz; la historia que relata la evolución del pensamiento con relación a esta cuestión es seguramente una de las más apasionantes e instructivas de la *física*.

Los filósofos griegos consideraban a la luz como un fluido que manaba de los propios ojos del observador y que iluminaba, así, los cuerpos a los cuales dirigimos la vista. Esta teoría cae por su base, al considerar que por el solo hecho de abrir los ojos deberíamos ver en la oscuridad.

Dos hipótesis, ambas bien antiguas, han venido mereciendo los favores de los hombres de ciencia, constituyendo, respectivamente, **la teoría ondulatoria** y **la teoría corpuscular** de la luz; según la primera, la luz es una perturbación de tipo ondulatorio que se propaga desde el foco luminoso al observador; mientras que, de acuerdo con la segunda, la luz debe estar constituida por la proyección de pequeños corpúsculos desde el foco emisor.

Ambas teorías se desarrollaron paralelamente, y a mitad del siglo XVII la ondulatoria era utilizada por *Huygens* para interpretar la propagación, reflexión y refracción de la luz; para dicho físico la luz era una onda que se propagaba mediante la vibración de las partículas de un medio elástico ideal llamado *éter*, existente tanto en el interior de los cuerpos materiales como en el vacío. No obstante, estas ideas no eran aceptadas universalmente, pues en contra de la teoría ondulatoria se objetaba, por los partidarios de la corpuscular, que si la luz era un movimiento ondulatorio las ondas luminosas deberían doblar los obstáculos (*difracción*) en su trayectoria y, por lo tanto, no existirían sombras; *Grimaldi* en 1665 ya había observado fenómenos de difracción producidos por la luz, pero la importancia de este hecho no fue apreciado en aquella época; hoy sabemos que la longitud de onda de la luz es tan pequeña que los fenómenos de difracción no resultan fácilmente observables.

A principios del siglo XVIII *Newton* se declaró firme partidario de la teoría corpuscular, y en consecuencia dicha teoría adquirió gran prestigio; pero las experiencias de la *doble rendija*, realizadas por *Thomas Young* en 1801 pusieron de manifiesto que *luz más luz podía dar oscuridad*, en virtud de los fenómenos de *interferencia*; además, *Fresnel* en 1815 reprodujo la experiencia de *Grimaldi* sobre la difracción de la luz. De este modo, la teoría ondulatoria obtuvo una serie de éxitos tan resonantes que parecía descartada para siempre la teoría corpuscular. Siglo XIX.

### 3.8. Normas que se siguen en óptica geométrica

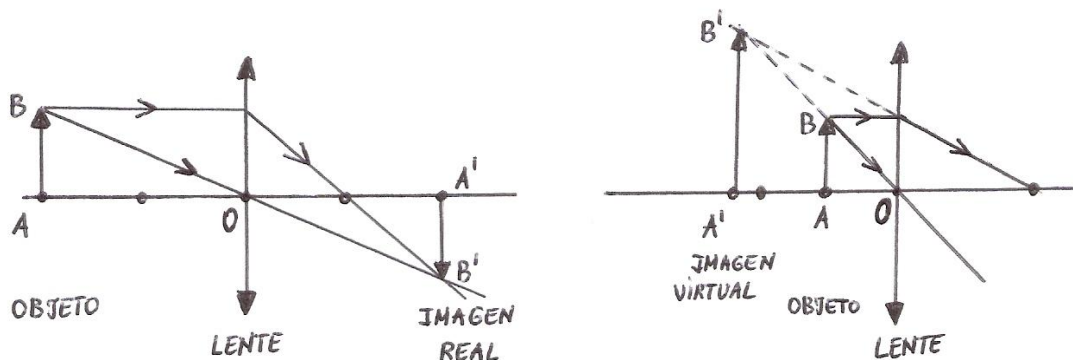
#### 3.8.1. Representación de objetos

Debido a que las formas de los objetos es muy complicada, éstas suelen representarse mediante un *segmento rectilíneo terminado en punta de flecha* para distinguir así su parte alta y baja.

### 3.8.2. Imagen de un objeto

Es el *segmento rectilíneo con punta de flecha* que se obtiene al juntarse los rayos que, procediendo de cada uno de los puntos del objeto, han experimentado una reflexión o refracción.

La *imagen es real* si se forma de la unión de los propios rayos y *virtual* si se forma de la unión de sus prolongaciones (efectuadas éstas en sentido contrario al de la propagación).



Las *imágenes reales* pueden ser recogidas en una *pantalla*. Las *imágenes virtuales*, no existen realmente, se ven y no pueden recogerse en una pantalla.

### 3.8.3. Representación de puntos y distancias

Para representar *puntos* se emplean *letras mayúsculas*; para representar *distancias* se emplean *letras minúsculas*.

Los elementos de una *imagen* llevan las mismas letras que las correspondientes del objeto, pero con un apóstrofe.

### 3.8.4. Marcha de la luz

De izquierda a derecha.

### 3.8.5. Signo de las magnitudes lineales

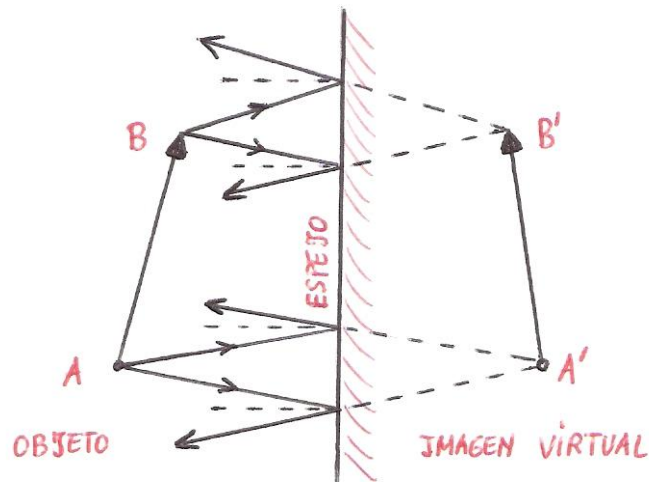
Se consideran *negativas* hacia la izquierda del vértice (O) del objeto óptico que pongamos y *positivas* hacia la derecha.

## 3.9. Reflexión. Imágenes en espejos

### 3.9.1. Imágenes en espejos planos

Ya hemos dicho que un *espejo* es una superficie ( en este caso plana ), lisa y pulimentada, que produce *reflexión dirigida*.

La figura, nos muestra cómo se forma la imagen de un objeto en un *espejo plano* siguiendo las normas del apartado anterior



Como podemos ver, la imagen formada es una imagen **virtual**, **simétrica**, **derecha** y del mismo **tamaño** que el objeto.

### 3.9.2. Imágenes en espejos esféricos

Los *espejos esféricos* son superficies esféricas, de elevado poder de reflexión, lisas y pulimentadas por su cara interior ( **espejos cóncavos** ) o por su cara exterior ( **espejos convexos** ).

#### 3.9.2.1. Elementos de un espejo esférico

- Se llama *centro de curvatura* ( **C** ) al centro geométrico de la esfera a que corresponde la superficie del espejo. A la distancia que hay desde el centro de curvatura a cada punto de la superficie esférica se denomina *radio de curvatura* ( **r** ).
- Se denomina *eje principal* a la recta que une el centro de curvatura ( **C** ) con el *centro o polo del espejo* ( **O** ).

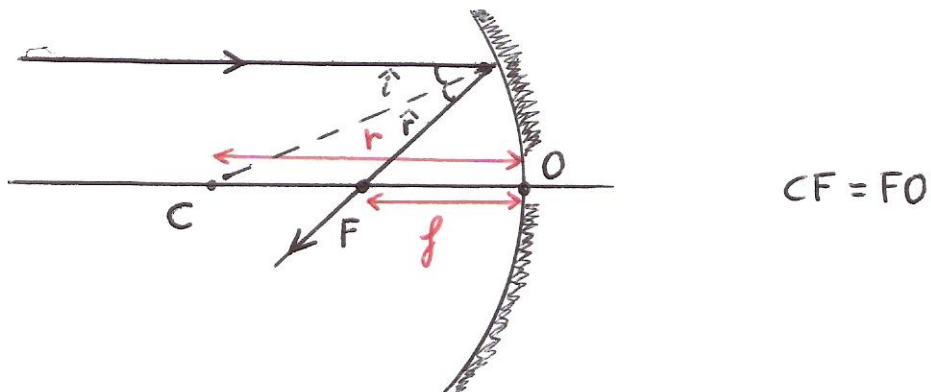
#### 3.9.2.2. Reglas para obtener la imagen en un espejo esférico

- Todos los rayos que procedan del *centro de curvatura* se reflejarán sobre sí mismos, puesto que al coincidir su dirección con la del radio, inciden perpendicularmente al espejo.
- Todos los rayos que incidan paralelamente al eje principal se reflejarán pasando por un mismo punto, situado sobre el eje principal, llamado **foco**

**del espejo ( F ).** El foco equidista del *centro de curvatura ( C )* y del *centro del espejo ( O )*.

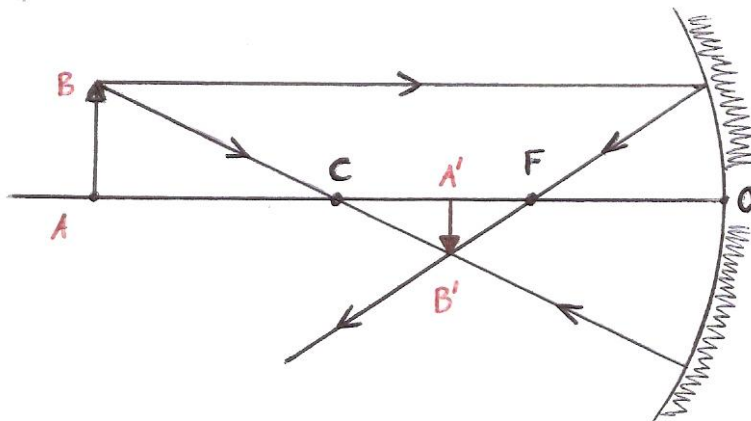
- c) Se llama **distancia focal ( f )** a la distancia del *foco del espejo* al *centro del espejo*. Luego:

$$f = \frac{r}{2}$$



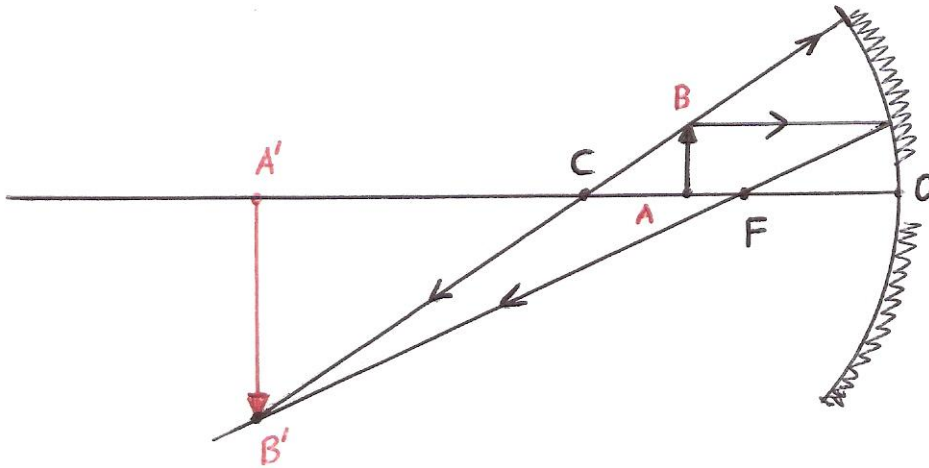
### 3.9.2.3. Imágenes en espejos cóncavos

1. **Objeto situado entre el infinito y el centro de curvatura.**



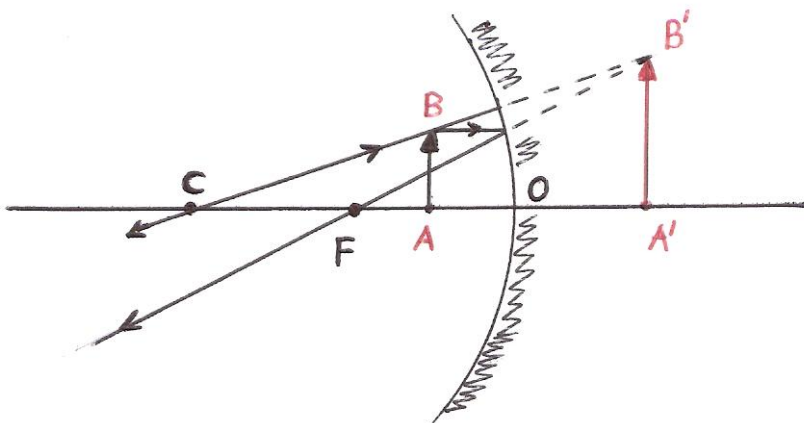
La imagen obtenida es *real, invertida y menor que el objeto*.

2. **Objeto situado entre el centro de curvatura y el foco.**



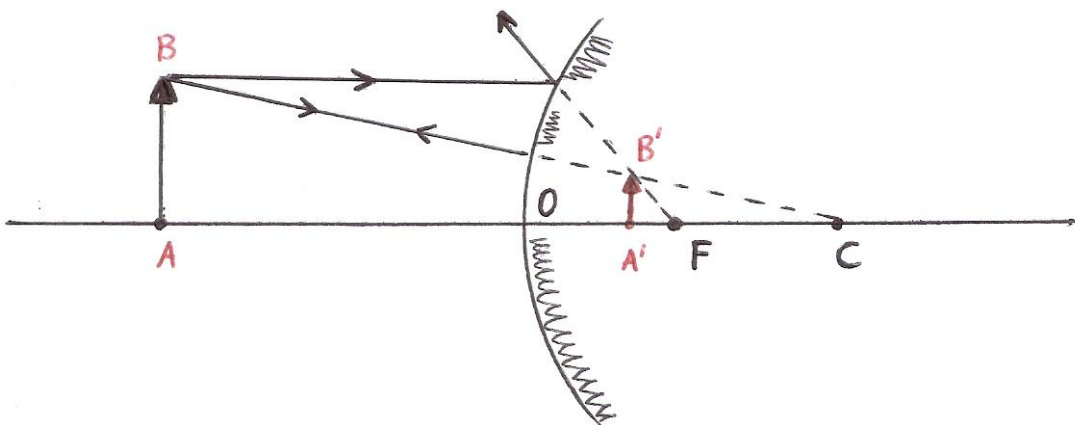
La imagen obtenida es *real, invertida y mayor que el objeto*.

### 3. Objeto situado entre el foco y el espejo.



La imagen obtenida es *virtual, derecha y mayor que el objeto*.

#### 3.9.2.4. Imágenes en espejos convexos



Se observa fácilmente al construir la imagen que, sea cual fuere la distancia entre el objeto y el espejo, la imagen siempre es *virtual, derecha y menor que el objeto*.

### 3.9.2.5. Fórmula general de los espejos esféricos

La fórmula general de los espejos esféricos es:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

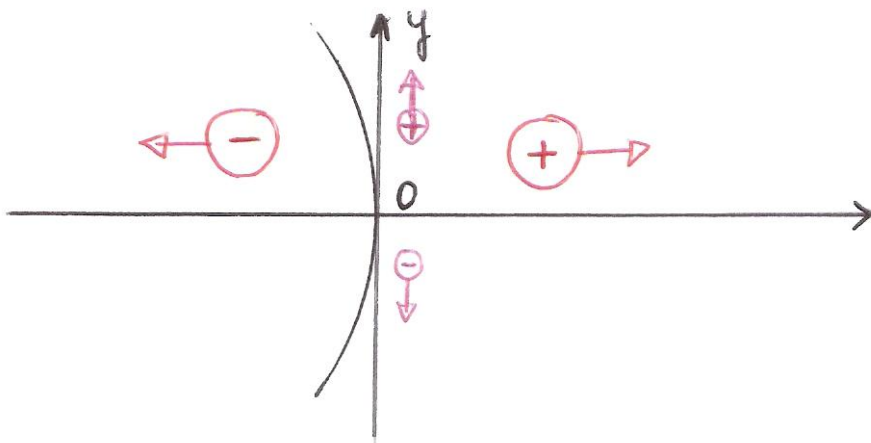
Donde **s** es la distancia del *objeto* al *centro del espejo*; **s'** la distancia de la *imagen* al *centro del espejo*; **f** la *distancia focal* y **r** el *radio de curvatura* del espejo.

El tamaño de la imagen con respecto al tamaño del objeto se denomina **aumento lateral  $M_L$**  y su fórmula es:

$$M_L = - \frac{s'}{s} = \frac{y'}{y}$$

El **convenio de signos** a seguir es el siguiente:

- a) Las distancias desde el centro del espejo son *positivas* si están a la *derecha* de dicho centro; y *negativas*, si están a la *izquierda*.



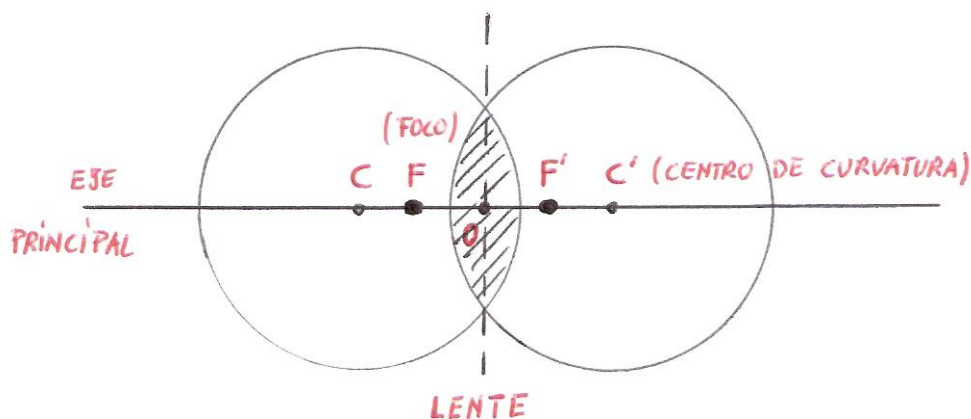
Los valores de la  $y$  serán positivos por encima del *eje principal* y negativos por debajo de dicho eje.

- b) Teniendo en cuenta el apartado anterior, si la distancia de la imagen ( $s'$ ) al centro del espejo sale *positiva*, la imagen será **virtual** y si sale *negativa* será **real**.
- c) Para averiguar si la imagen es **derecha** o **invertida** debemos calcular  $y'$ . La imagen es **derecha** si sale *positiva* y es **invertida** si sale *negativa*.

### 3.10. Refracción. Lentes

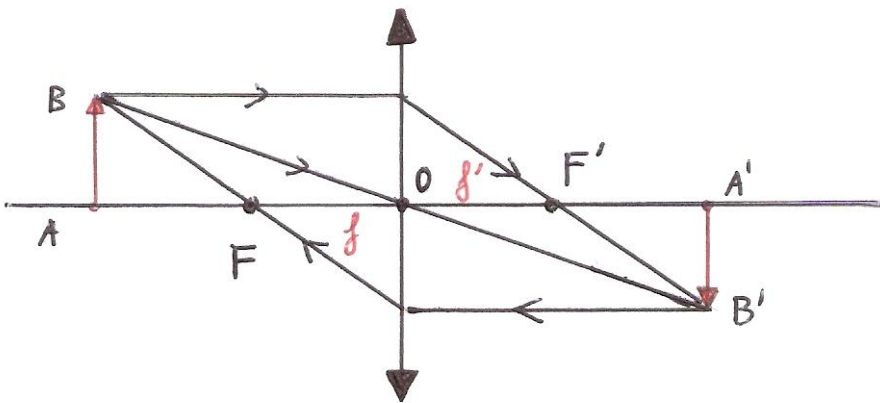
Se denomina **lente** a todo medio *transparente, isótropo* ( mismas propiedades en todas las direcciones ) y *homogéneo* ( misma composición en todos sus puntos ), limitado por dos *superficies curvas* o por *una plana* y otra *curva*.

#### 3.10.1. Elementos de una lente



- a) *Centros de curvatura* ( C, C' ). Son los centros geométricos de las esferas a que pertenecen las superficies esféricas que limitan la lente.
- b) *Eje principal*. Es la recta que une los centros de curvatura.
- c) *Centro óptico* ( O ). Es el punto de intersección del eje principal con la lente. Tiene la propiedad de que todo rayo que pase por él no sufre desviación alguna; es decir: no se refracta.
- d) *Focos* ( F, F' ). Son los puntos donde concurren después de atravesar la lente los rayos paralelos al eje principal o sus prolongaciones, se les denomina **foco imagen** ( F' ) y **foco objeto** ( F ), según los rayos paralelos provengan del *objeto* o de la *imagen*.

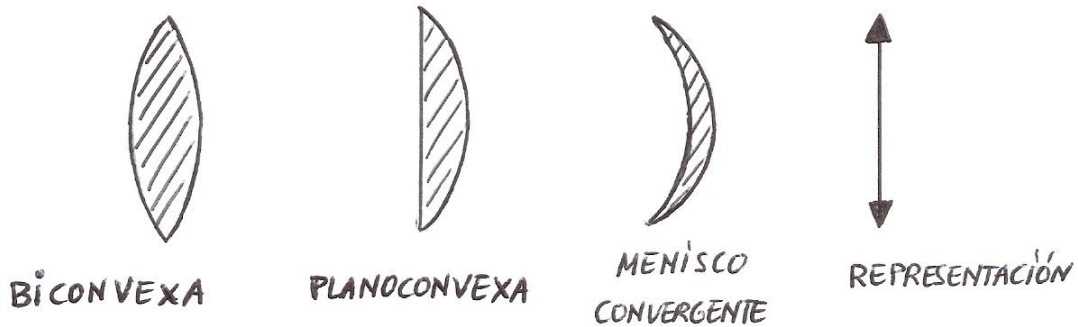
- e) *Distancia focal imagen* ( $f'$ ) y *distancia focal objeto* ( $f$ ). Son las distancias entre cada foco y el centro óptico.



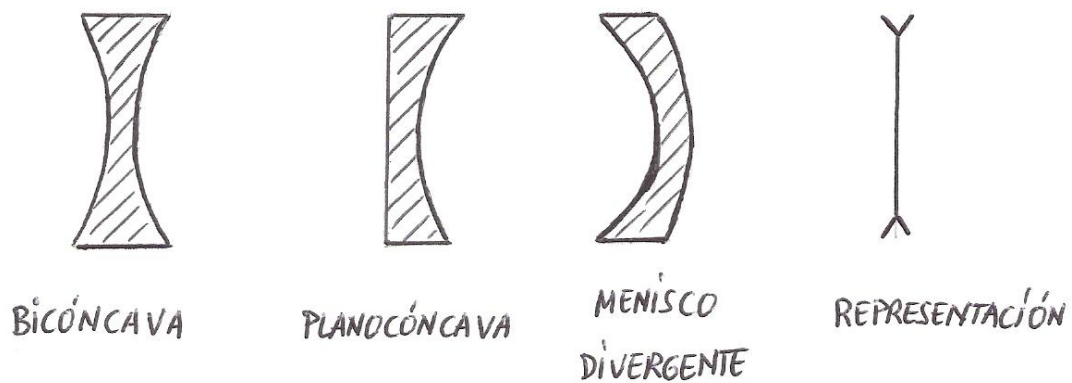
### 3.10.2. Clasificación de las lentes

Combinando *superficies planas* y *esféricas* pueden obtener las siguientes lentes:

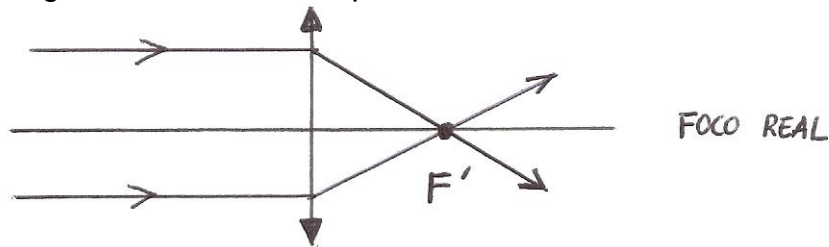
#### **Lentes convergentes**



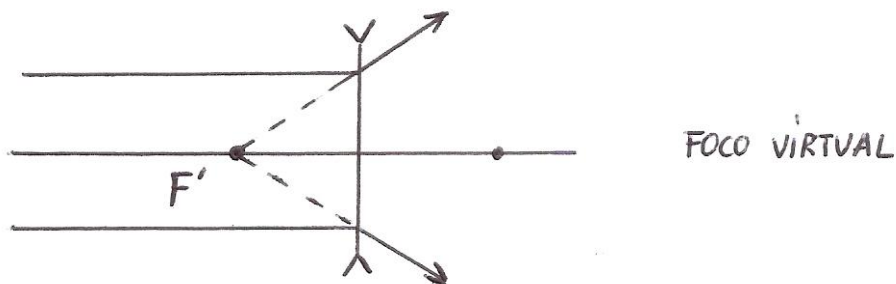
#### **Lentes divergentes**



Las *lentes convergentes* hacen **converger** en un punto ( *foco imagen*  $F'$  ) todos los rayos paralelos al eje principal que pasan por ellas. Las *lentes convergentes* son más gruesas en el centro que en los bordes.



Las *lentes divergentes* hacen que **diverjan** ( se separen) todos los rayos paralelos al eje principal que llegan a ellas y las atraviesan. Son más gruesas en los bordes que en el centro.



### 3.10.3. Convergencia o potencia de una lente

**Convergencia** o **potencia de una lente** es la inversa de la distancia focal imagen.

$$P = \frac{1}{f'}$$

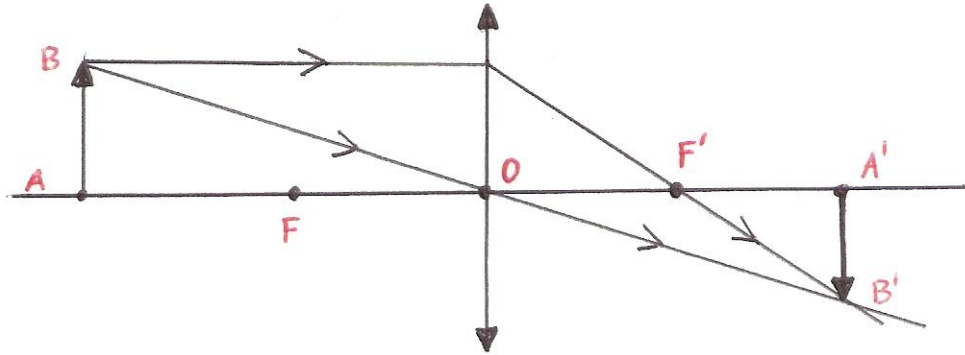
Si la distancia focal se expresa en *metros*, la potencia de la lente viene dada en **dioptrías**.

Una *dioptría* es pues la potencia de una lente de distancia focal 1 metro.

Se convino en tomar como **positiva** la distancia focal imagen (  $f'$  ) de las **lentes convergentes**, y como **negativa** la distancia focal imagen (  $f'$  ) de las **lentes divergentes**. Luego las *lentes convergentes* tendrán **potencia positiva** y las *lentes divergentes* tendrán **potencia negativa**.

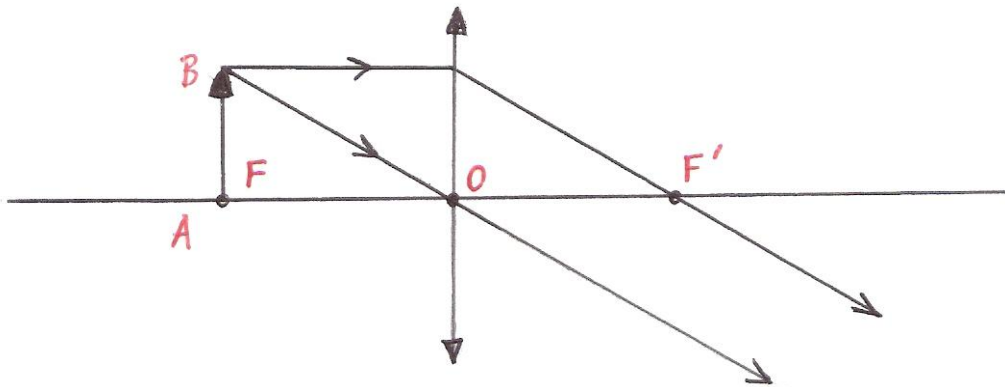
### 3.10.4. Imágenes en lentes convergentes

#### 1. El objeto está entre el infinito y el foco.



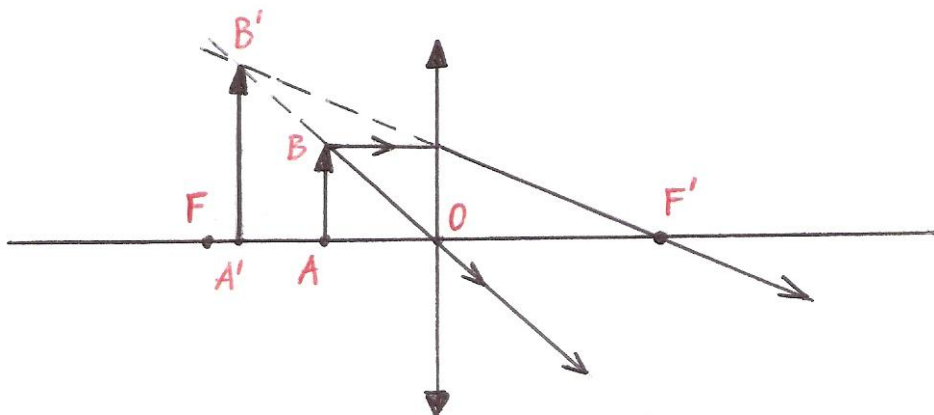
La imagen obtenida es *real e invertida*. Según la posición del objeto la imagen puede ser *mayor o menor* que el objeto.

### 2. El objeto está en el foco.



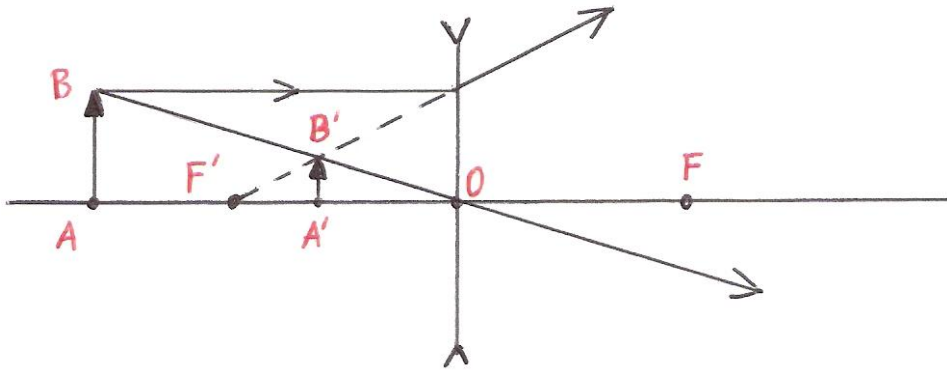
La imagen se forma en el *infinito*. No hay imagen.

### 3. El objeto está entre el foco y la lente.



La imagen es *virtual, derecha y mayor* que el objeto. En este caso la lente recibe el nombre de ***lupa***.

### 3.10.5. Imágenes en lentes divergentes



La imagen es siempre *derecha, virtual y más pequeña* que el objeto.

### 3.10.6. Fórmula general de las lentes

La fórmula general de las lentes es:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$$

Donde  $f'$  es la distancia focal imagen,  $s$  la distancia del objeto al centro óptico y  $s'$  la distancia de la imagen al centro óptico.

El **aumento lateral  $M_L$**  de las lentes viene dado por:

$$M_L = \frac{s'}{s} = \frac{y'}{y}$$

El *convenio de signos* es el mismo que hemos empleado para los *espejos esféricos*, excepto que, si  $s'$  es *positiva* la imagen será **real** y si sale *negativa* será **virtual**.

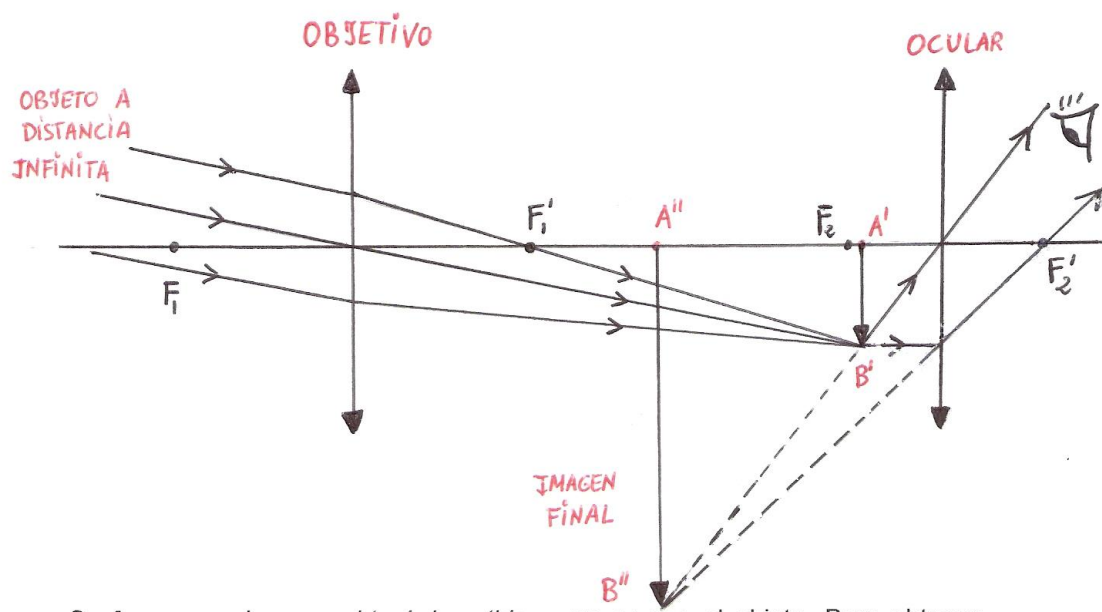
### 3.11. Instrumentos ópticos

#### 3.11.1. La lupa

Es el instrumento óptico más sencillo. Consta, como ya hemos visto, de una *lente convergente* ( biconvexa ). Cuando el objeto está entre el foco y la lente, la imagen es *virtual, derecha* y de *mayor tamaño* que el objeto.

#### 3.11.2. Telescopio astronómico de refracción

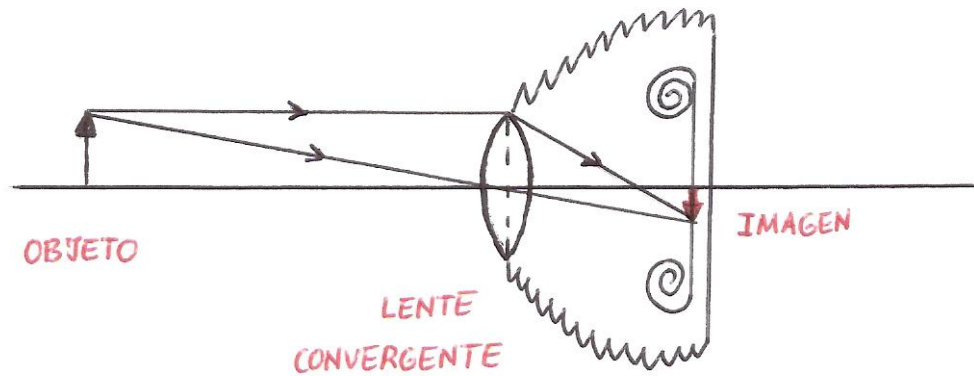
Consta de dos *lentes convergentes*, la más cercana al objeto se llama **objetivo** y la más próxima al observador, **ocular**.



Se forma una imagen *virtual, invertida* y *mayor* que el objeto. Para obtener grandes aumentos, el *objetivo debe tener una gran distancia focal* y el *ocular una pequeña distancia focal*.

#### 3.11.3. Cámara fotográfica

En esencia, consiste en una lente convergente montada en una de las caras de una caja cerrada ( **cámara oscura** ).



La imagen que se produce es *real, invertida y menor* que el objeto. Esta imagen es captada por una placa sensible ( *negativo fotográfico* ) a la acción de la luz o por un sensor CCD ( dispositivo de carga eléctrica interconectada ).

Los demás accesorios: *diafragma, fotómetro, disparador, etc.*, son importantes, pero no esenciales.

#### 3.11.4. Límite o poder de resolución de un instrumento óptico

El *límite o poder de resolución* de un instrumento óptico, tal como un telescopio o microscopio, es la *capacidad que tiene el instrumento para ver separados dos puntos objeto que estén muy próximos*.

Sabiendo que la *separación angular crítica*  $\alpha_c$  es:

$$\alpha_c = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

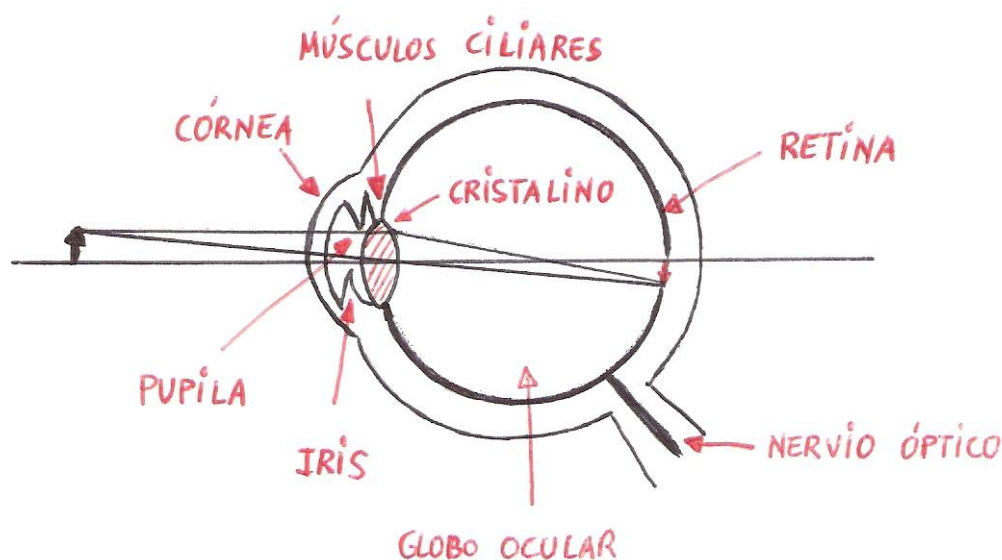
Donde **D** es el diámetro de la lente o espejo y  $\lambda$  la longitud de onda de la radiación incidente.

El *poder de resolución de un instrumento óptico* será:

$$P = \frac{1}{\alpha_c} = \frac{D}{1,22\lambda}$$

Se consigue aumentar el *poder de resolución* de un instrumento, *aumentando* el **diámetro D** de la lente o del espejo, o *disminuyendo* la **longitud de onda  $\lambda$**  de la luz incidente.

### 3.12. El ojo humano y la visión



Los rayos de luz procedentes del objeto, después de atravesar la *córnea* y la *pupila*, llegan al *cristalino* ( **lente convergente** ) donde son desviados de su trayectoria para formar una *imagen real, invertida y de menor tamaño* que el objeto sobre la *retina*. La imagen impresiona a los *conos* y *bastoncillos* y la señal es transmitida al *cerebro* a través del *nervio óptico*. Por último, en el cerebro se elabora la sensación correspondiente.

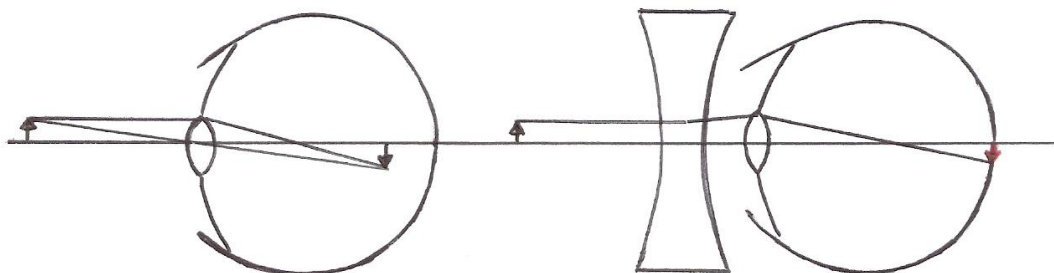
Así pues, desde el punto de vista físico, el *cristalino* es el elemento esencial del ojo. Para ver un objeto con nitidez, la imagen debe formarse sobre la *retina*. El *cristalino* es el encargado de conseguirlo, cualquiera que sea la distancia a la que se encuentre el objeto. Para ello, posee la facultad de modificar su *radio de curvatura* mediante la acción de los *músculos ciliares*. El *cristalino* se abomba o se estira según la distancia a la que se encuentra el objeto. Esta facultad se llama *poder de acomodación*.

El *poder de acomodación* del *cristalino* se extiende entre los llamados *punto remoto*, que se encuentra en el infinito ( podemos ver objetos del infinito ) y el *punto próximo* que para un joven se encuentra a unos 7 centímetros y para un anciano a unos 2 metros. Para distancias más cortas, los objetos no se ven con nitidez porque el *cristalino* no puede abombarse lo suficiente y la imagen se forma detrás de la *retina*.

Todo lo anterior se refiere a *ojos normales*. Pero pueden presentarse defectos congénitos o adquiridos que perturben la visión perfecta. Tres son los más importantes:

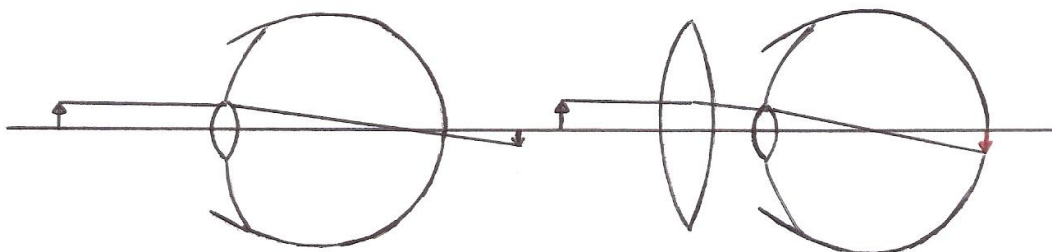
a) **Miopía.**

En el ojo miope, el globo ocular es demasiado *largo* y la imagen dada por el *crystalino* se forma *delante de la retina*. También puede ser debido a que el *crystalino* sea *muy convergente* ( $f'$  pequeña). El miope se acerca los objetos para verlos mejor. La *miopía* se corrige con lentes *divergentes*.



b) **Hipermetropía.**

En el ojo hipermetrope, el globo ocular es demasiado corto y la imagen dada por el *crystalino* se forma *detrás de la retina*. También puede ser debido a que el *crystalino* sea *poco convergente* ( $f'$  grande). El hipermetrope se aleja los objetos para verlos mejor. Se corrige con lentes *convergentes*.



b) **Presbicia o vista cansada.**

El *crystalino* pierde flexibilidad, y por tanto, *poder de acomodación*. El *punto remoto* permanece en el infinito pero el *punto próximo* se aleja más de lo normal para la edad. Se corrige con *lentes convergentes* para los objetos próximos.

**ANEXO 1**

<http://acacia.pntic.mec.es/jruiz27/contenidos.htm>