

3

ÓPTICA GEOMÉTRICA



IDEAS PRINCIPALES

- Modelo de rayos
- Sombras y penumbras
- Velocidad de la luz
- Imágenes reales y virtuales
- Mecanismo de visión
- Reflexión especular y difusa
- Espejos planos y esféricos
- Lentes convergentes y divergentes
- El ojo humano
- Instrumentos ópticos

La propagación de la luz se describe con las ecuaciones de Maxwell. Su resolución es complicada y podemos obtener una información parecida con un método basado en el estudio geométrico de la propagación de la luz sin tener en cuenta su naturaleza electromagnética. Este método conocido como Óptica Geométrica se puede utilizar siempre que la difracción que se produzca sea irrelevante, es decir, siempre que la longitud de onda de la luz sea mucho menor que los objetos con los que interacciona.

1

PROPAGACIÓN DE LA LUZ

La propagación de la luz solemos representarla mediante **rayos** rectilíneos. El **modelo de rayos** supone que la luz viaja en línea recta desde las fuentes de luz formando imágenes, sufriendo cambios en su dirección al interactuar con objetos (reflexión y refracción) o permitiendo la visión de éstos cuando la luz que reflejan entra en nuestros ojos.

Existen multitud de evidencias que apoyan esta idea: producción de sombras, penumbras, eclipses, láseres, etc.

Desde los supuestos de la Óptica Geométrica la propagación de la luz cumple tres leyes:

1) **Ley de la propagación rectilínea:** en un medio homogéneo la luz se propaga en línea recta.

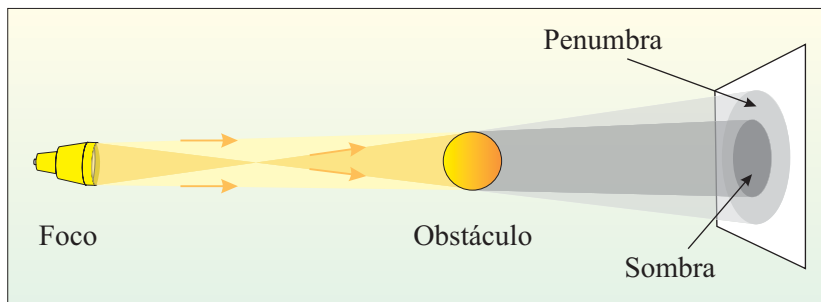
2) **Ley de la reflexión:** el ángulo de incidencia (el que forma el rayo incidente con la normal a la superficie reflectante) es igual al de reflexión y ambos están en el plano determinado por ellos y la normal (plano de incidencia).

3) **Ley de la refracción:** el ángulo de refracción (el que forma el rayo refractado con la normal) está contenido también en el plano de incidencia y su valor viene determinado por la ley de Snell:

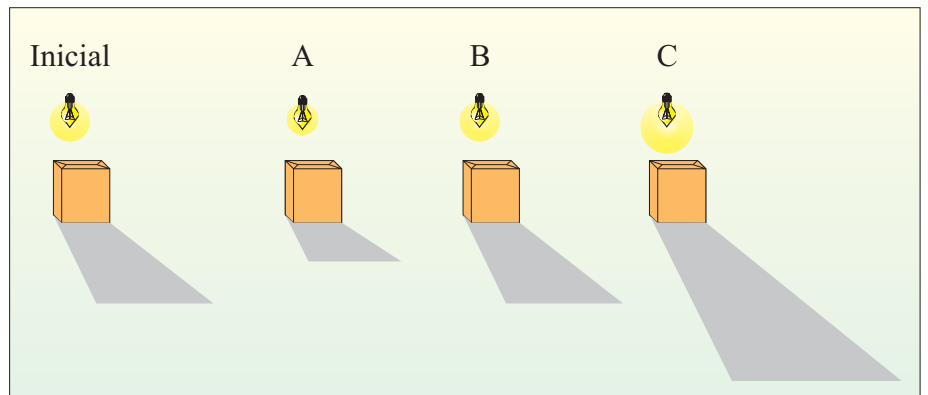
$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} \rho$$

Sombras y penumbras

Entendemos por zona de **sombra** aquella a la que no llega la luz al ser interceptada por un objeto. A las zonas de oscurecimiento parcial por llegarles algo de luz, quedando interceptada sólo parte de ella, se les denomina zonas de **penumbra**.



A.1.- El dibujo de la izquierda representa la sombra de una caja cuando está iluminada por una bombilla que alumbró muy poco. Los otros dibujos representan al mismo cuerpo iluminado por una bombilla que alumbró mucho más. ¿Cuál crees que representa correctamente la sombra que se formará cuando la bombilla es más potente? Explica tu elección.



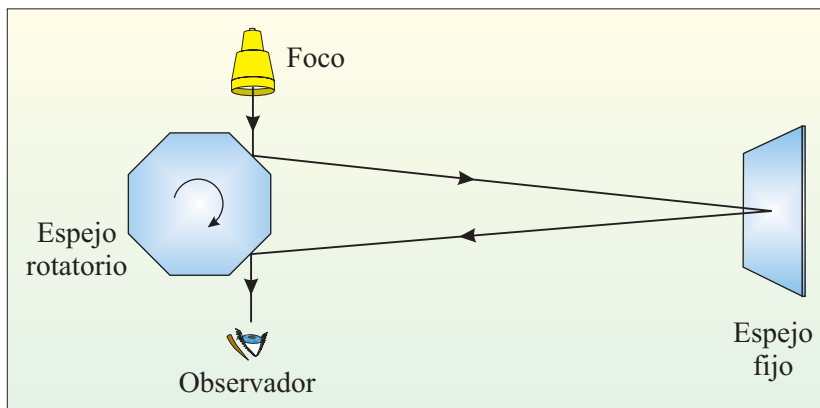
El modelo de rayos permite representar sin problemas tanto la zona de sombras como la de penumbras conociendo las posiciones y tamaños de la fuente de luz y del objeto que intercepta la luz.

1.1 Velocidad de la luz

A.2.- ¿La luz emitida por la lámpara de un faro tarda más en llegar a un barco si es de día que si es de noche? Explica por qué.

La primera experiencia con éxito para medir la velocidad de la luz la llevó a cabo el astrónomo Römer en 1676. Calculó un valor de 220 000 km/s a partir de sus medidas de las órbitas de los satélites de Júpiter en distintos momentos, según la Tierra estuviera más cerca o más lejos de Júpiter.

En 1849 Fizeau y en 1862 Foucault, por métodos parecidos obtuvieron valores de 313 000 y 293 000 km/s, respectivamente. En ambos casos, un sistema de espejos a una considerable distancia (varios kilómetros) permitían la medida del tiempo que empleaba la luz en recorrer el camino de ida y vuelta.



Dispositivo de Foucault: la luz se dirige hacia una de las ocho caras del espejo rotatorio. La luz es reflejada por el espejo fijo y vuelve de nuevo al rotatorio. Si la rapidez angular de éste es la correcta, la luz es percibida por el observador.

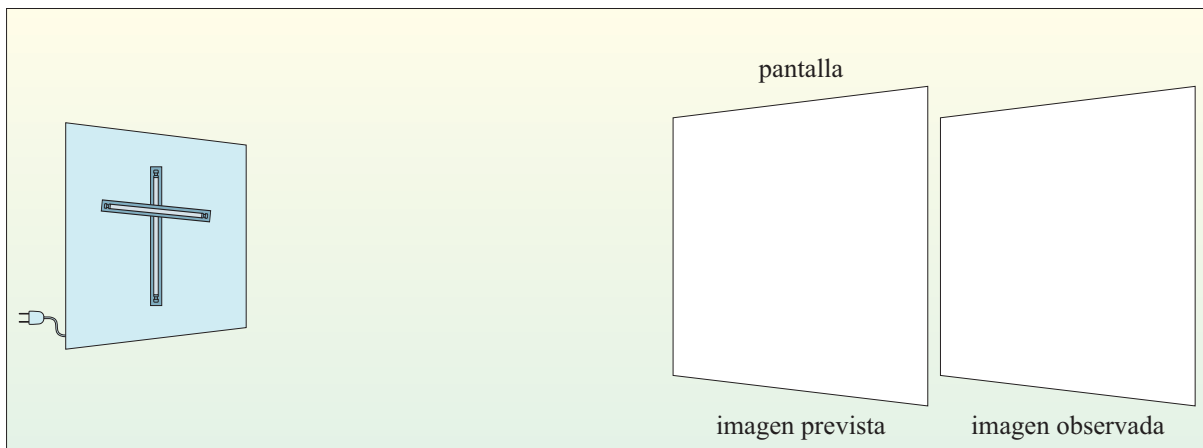
Michelson en EEUU con el mismo dispositivo algo más refinado, colocando los espejos a 35 km de distancia, logró obtener un valor de 299 796 km/s, parecido al valor aceptado hoy día para la velocidad de la luz en el vacío: $299\,792,4562 \pm 0,011$ km/s.

A.3.- a) Calcula el tiempo que tarda la luz en llegar desde el Sol a la Tierra.
b) Calcula la distancia que recorre la luz en un año.

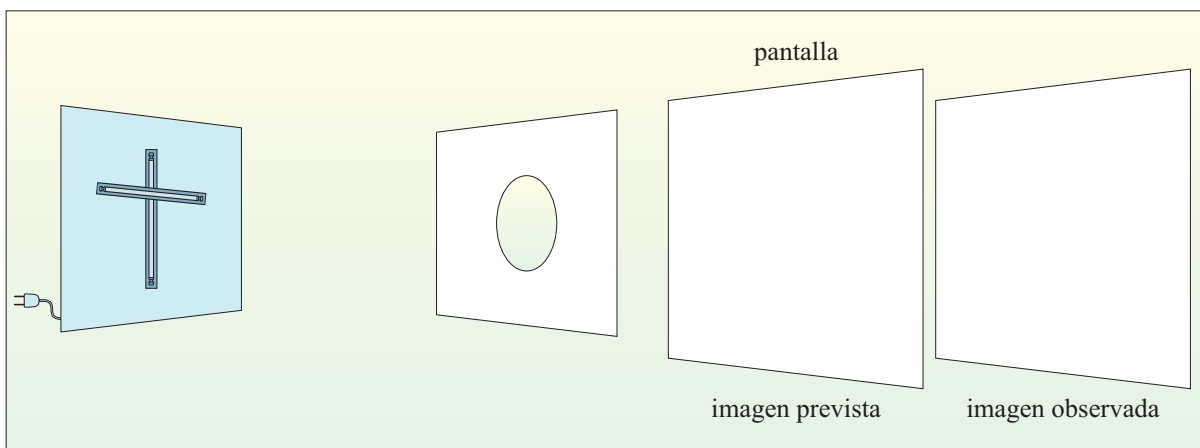
1.2 Imágenes reales y virtuales

La luz emitida por fuentes, al llegar a los objetos es reflejada y en determinadas condiciones puede formar imágenes de esos objetos.

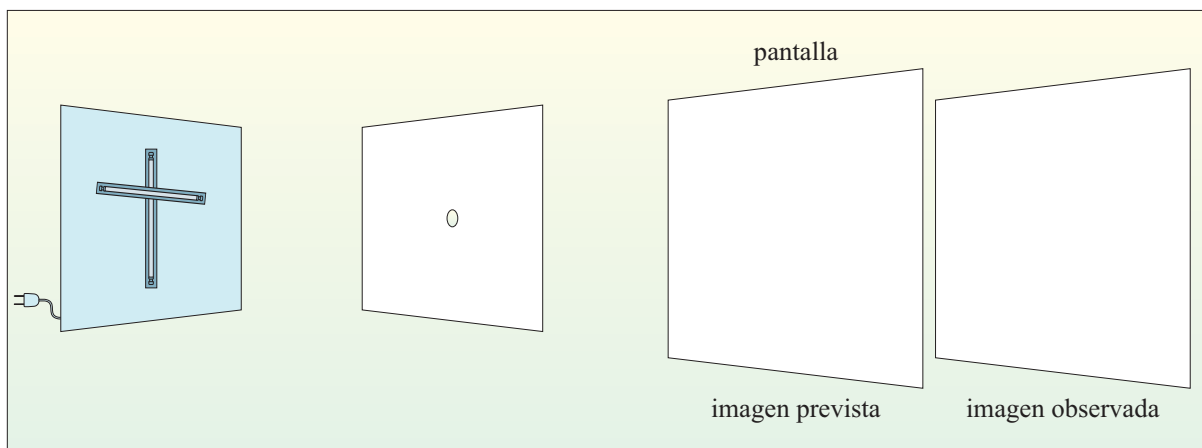
A.3.- a) Tenemos una lámpara con forma de cruz colocada frente a una pantalla. Dibuja lo que se verá en la pantalla cuando se encienda la lámpara. Después observa la experiencia y dibuja lo que ves en la segunda pantalla. Explica lo ocurrido.



b) Dibuja lo que se verá en la pantalla si entre ella y la lámpara colocamos un cartón con un agujero ancho y redondo. Observa después la experiencia y dibuja lo que ves en la segunda pantalla. Explica lo que has visto.



c) Repetimos la experiencia anterior, pero ahora ponemos un cartón con un pequeño agujero. Realiza los mismos pasos que en la anterior actividad.



d) ¿Qué se observará en la pantalla si hacemos varios agujeritos en la cartulina colocada entre ella y la lámpara encendida?

Para que se forme la imagen de un objeto es necesario que a cada punto del objeto le corresponda un sólo punto de la imagen.

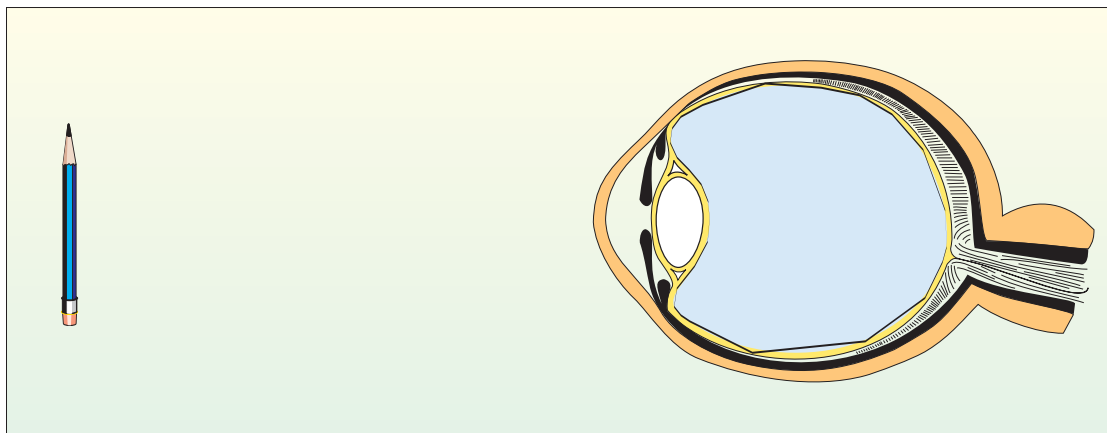
Las imágenes que hemos observado están formadas «realmente» por la luz emitida por el foco. A éstas se les llama **imágenes reales**. Sin embargo, a veces los rayos de luz no pasan realmente por la imagen, sino que así lo percibimos porque el cerebro interpreta que la luz entra en los ojos como si viniera en línea recta desde la imagen. Este tipo de imágenes reciben el nombre de **imágenes virtuales**. Una cámara fotográfica o una pantalla colocadas en el lugar de la imagen no las detectarían.

Una aproximación al mecanismo de visión

¿Cómo podemos ver los objetos? Ésta constituye la pregunta central del estudio de la óptica hasta el siglo XVI en el que Kepler dejó sentadas las bases de la actual óptica geométrica.

Suponemos que para ver un objeto, la luz que refleja proveniente de un foco u otro objeto, debe entrar en el ojo y formar una imagen en la retina (parte posterior del ojo rica en terminaciones nerviosas).

A.4.- Explica cómo crees que puedes ver el lápiz con el que escribes.



El ojo en realidad, es algo más complicado pues utiliza el sistema córnea-cristalino como una lente para formar la imagen, como estudiaremos más adelante.

1.3 Sistemas ópticos

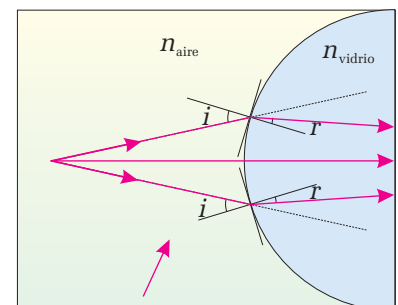
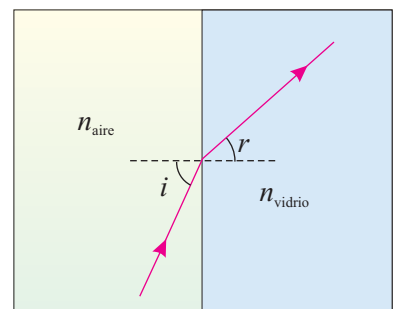
Un **sistema óptico** lo forman un conjunto de superficies que separan medios de distinto índice de refracción. Si se trata de dos medios transparentes, isótropos y homogéneos se le llama **dioptrio**. Éste puede ser **plano** o **esférico** según lo sea la superficie de separación de ambos medios.

En el caso de un sistema óptico constituido por dioptrios esféricos, la línea que une los centros de curvatura de todos ellos se le denomina **eje óptico** del sistema.

Un **punto objeto** es cualquier punto de un cuerpo que emite o refleja luz. Un **punto imagen** es aquel en el que pueden concurrir los rayos luminosos emitidos por un punto objeto.

Se dice que un sistema óptico es **estigmático** cuando los rayos emitidos por un punto objeto cualquiera convergen en un punto imagen único.

Una imagen es **real** si es formada por un conjunto de puntos imagen que se han



obtenido por rayos que al atravesar el sistema óptico convergen y se cortan en cada uno de esos puntos. Las imágenes reales se pueden recoger en una pantalla. La imagen es **virtual** si los rayos luminosos procedentes de un punto del objeto salen divergentes del sistema óptico, por lo que lo que convergen son las prolongaciones de los rayos. Las imágenes virtuales no pueden recogerse sobre una pantalla.

2 IMÁGENES FORMADAS POR REFLEXIÓN: ESPEJOS

Si observamos un espejo podemos percibir imágenes de objetos que variarán según la posición en la que nos coloquemos. Los objetos que vemos parecen estar detrás del espejo, lo cual es imposible. Lo que en realidad vemos son imágenes virtuales de ellos.

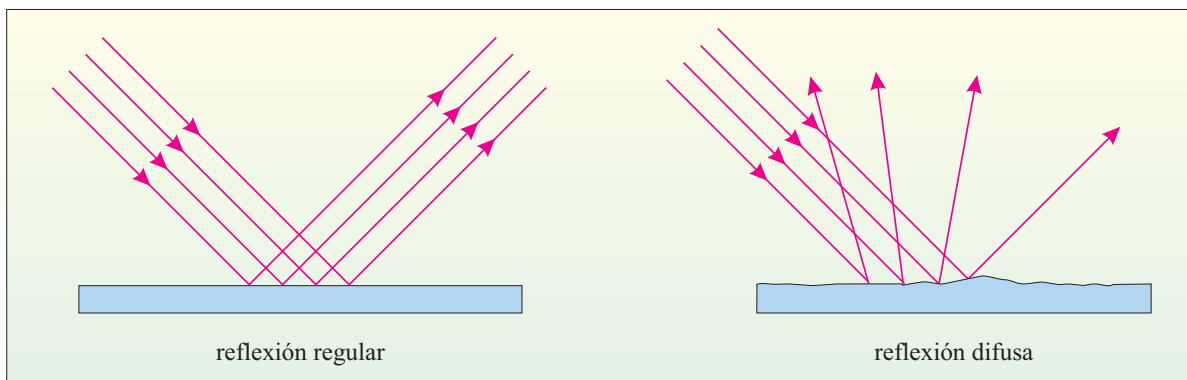
A.5.- ¿Dónde está nuestra propia imagen cuando la vemos en un espejo?:

- a) sobre el espejo;
 - b) detrás del espejo;
 - c) delante del espejo.
- ¿Cómo lo comprobarías?

Reflexión especular y difusa

Según sea la superficie sobre la que incide la luz la reflexión puede ser especular o difusa.

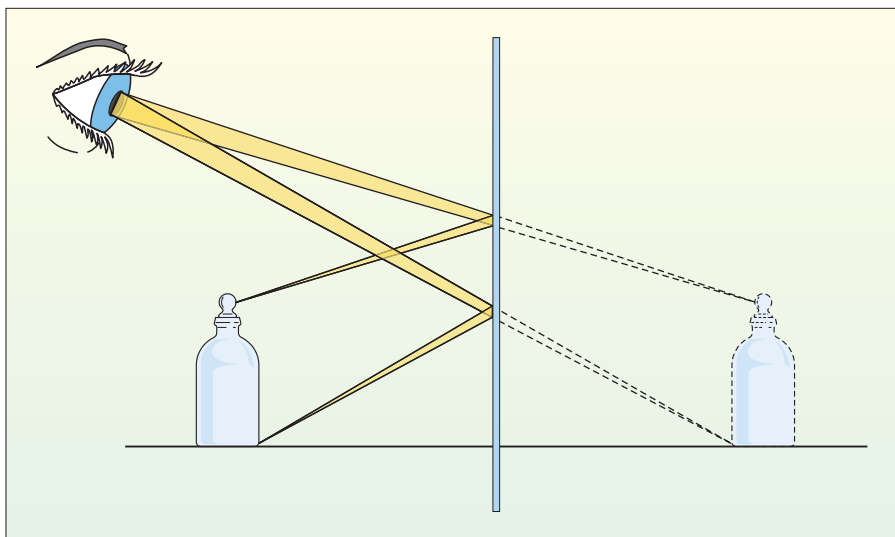
La reflexión especular cumple la condición de que todos los rayos reflejados llevan direcciones paralelas. Para ello la superficie reflectante tiene que estar muy pulimentada, se la denomina superficie especular, y a los objetos que la tienen, **espejos**.



Cuando la superficie sobre la que incide la luz presenta rugosidades, los rayos reflejados se emiten en multitud de direcciones diferentes por lo que no es posible la formación de imágenes especulares, pero permite ver la superficie del objeto ya que al ser iluminado por una fuente, al mirarlo, siempre habrá una parte de la luz reflejada que podrá entrar en nuestros ojos y formar su imagen en la retina.

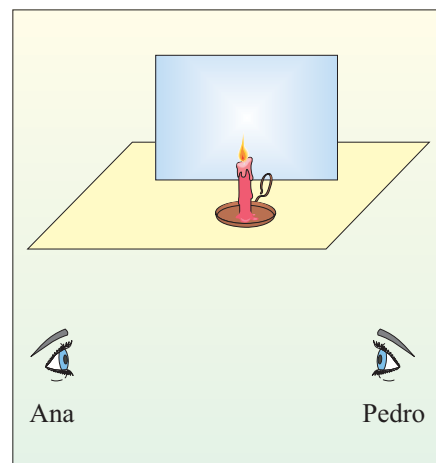
2.1 Imágenes formadas en espejos planos

En la figura se observa el camino que sigue un haz de luz que proviene de dos puntos diferentes del objeto y terminan en el ojo del observador. La imagen se forma con las prolongaciones de los rayos detrás del espejo. Si prolongamos el haz de rayos divergentes obtenemos, en el lugar donde convergen, el punto imagen. Estos rayos no pasan realmente por la imagen, tan sólo lo percibimos así porque nuestro cerebro interpreta la luz que entra en los ojos como si viniera de delante de nosotros en línea recta.



La imagen obtenida en un espejo plano es **virtual** (formada por las prolongaciones de los rayos, no por los rayos mismos) por lo que no puede recogerse en una pantalla. Es derecha aunque cambiando la relación izquierda-derecha, por lo que la imagen no se puede hacer coincidir con el objeto. Tiene el mismo tamaño que el objeto.

A.6.- Ana y Pedro están mirando una vela situada en una mesa delante de un espejo, a unos 10 cm de éste. Dibuja la posición de la imagen de la vela para cada uno de ellos. Explica tu dibujo.



Características de la imagen

Imagen virtual, derecha y del mismo tamaño que el objeto.

2.2 Imágenes formadas en espejos esféricos

Los espejos esféricos son aquellos en los que la superficie reflectora es un casquete esférico.

Lo llamamos **espejo esférico cóncavo** si la reflexión se produce en la parte interior del casquete esférico. Se utilizan para agrandar imágenes: afeitado, maquillaje...

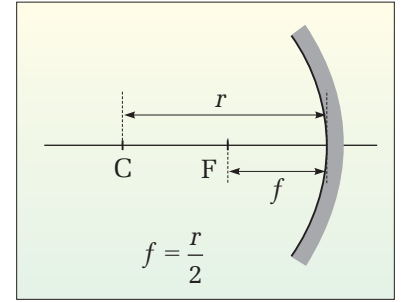
Lo llamamos **espejo esférico convexo** si la reflexión se produce en la parte exterior del casquete esférico. Amplían el campo de visión por lo que se utilizan en automóviles, tiendas, cruces de calles...

En general, los espejos esféricos no son sistemas estigmáticos. Pero si el tamaño del espejo es pequeño en comparación con su radio de curvatura, sí se forman imágenes nítidas y se pueden considerar sistemas aproximadamente estigmáticos.

Llamaremos eje principal del espejo a la línea que partiendo del centro de curvatura del espejo pasa por el punto que podríamos considerar centro de la superficie del espejo.

Si el espejo es cóncavo, los rayos que llegan paralelos al eje principal se reflejan y pasan por un punto que llamamos **foco**. La distancia de ese punto al espejo, que llamamos **distancia focal** es la mitad del radio de curvatura del espejo.

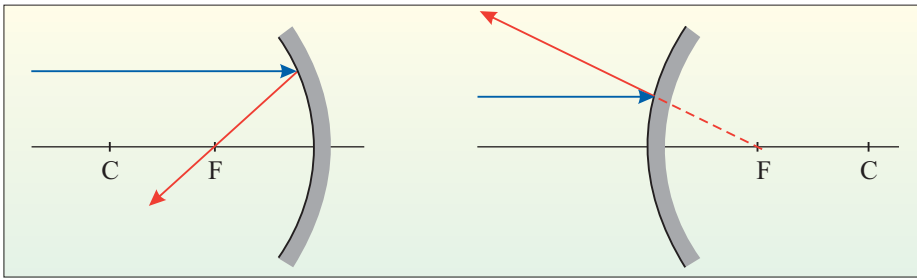
Si el espejo es convexo, los rayos reflejados no pasan por un punto, pero sí lo hacen las prolongaciones de esos rayos. Ese es el foco en el caso del espejo convexo.



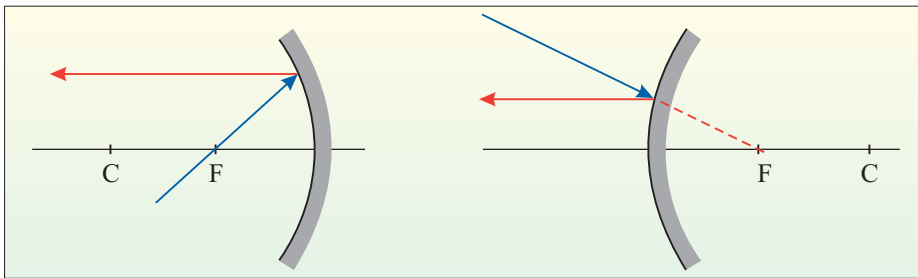
Construcción de imágenes en espejos esféricos

Para dibujar la imagen se utilizan varios rayos cuya trayectoria es conocida. El punto imagen estará en el lugar en que estos rayos se crucen. Veamos algunos:

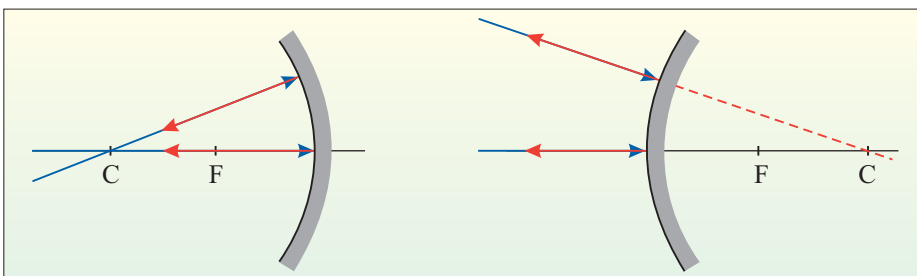
- Los rayos que inciden paralelos al eje óptico se reflejan de tal forma que el rayo reflejado pasa por el foco si el espejo es cóncavo o, las prolongaciones de los rayos reflejados son las que pasan por el foco si el espejo es convexo.



- Los rayos incidentes que pasan por el foco si el espejo es cóncavo o que se dirigen al foco si el espejo es convexo dan lugar a rayos reflejados paralelos al eje óptico.



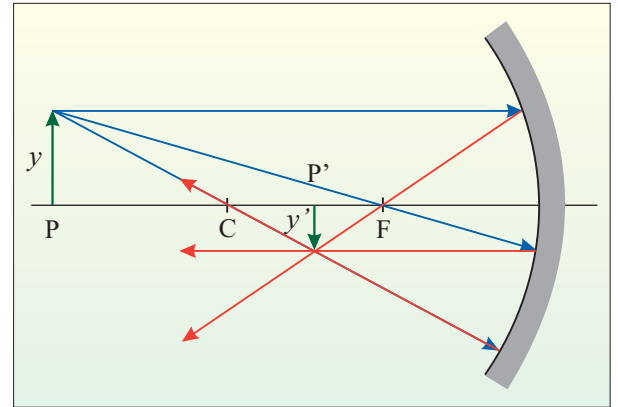
- Un rayo incidente que pasa por el centro de curvatura del espejo da un rayo reflejado que tiene la misma dirección y sentido contrario.



Imágenes en un espejo cóncavo

El dibujo representa la construcción de la imagen formada por un espejo cóncavo cuando el objeto está situado a una distancia superior al radio de curvatura.

Como puede observarse la imagen es real, invertida y de menor tamaño que el objeto.



A.7.- a) Construye la imagen dada por un espejo cóncavo cuando el objeto está situado entre el foco y el centro de curvatura.

b) Construye la imagen dada por un espejo cóncavo cuando el objeto está situado entre el foco y el espejo.

Características de la imagen formada en espejos cóncavos

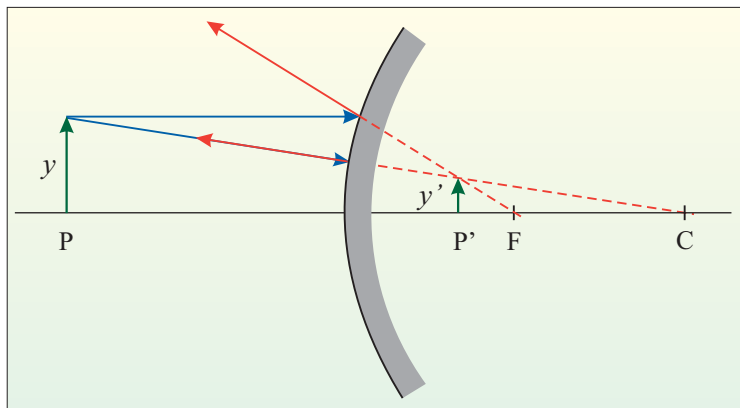
Objeto más allá del centro de curvatura: **imagen real, invertida y de menor tamaño** que el objeto.

Objeto entre el centro de curvatura y el foco: **imagen real, invertida y de mayor tamaño** que el objeto.

Objeto entre foco y espejo: **imagen virtual, derecha y de mayor tamaño** que el objeto.

Imágenes en un espejo convexo

Independiente de dónde se coloque el objeto la imagen producida por un espejo convexo es virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto.



A.8.- Construye la imagen dada por un espejo convexo cuando el objeto se encuentra a una distancia del mismo igual a la distancia focal. ¿Tiene las características mencionadas antes?

Características de la imagen formada en espejos convexos

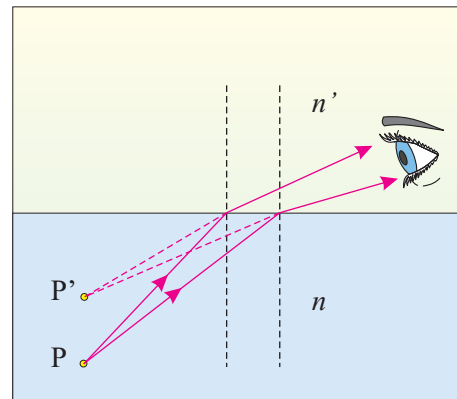
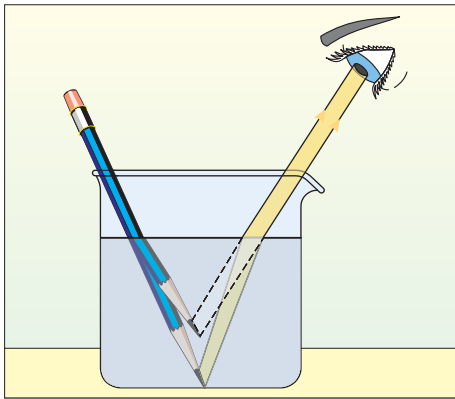
Imagen virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto.

3

IMÁGENES FORMADAS POR REFRACCIÓN

En los fenómenos de refracción la luz se desvía al pasar de un medio a otro con distinto índice de refracción. La refracción es la causa de algunas ilusiones ópticas como los espejismos, objetos que parece que se doblan al introducirlos en agua, profundidad aparente de una piscina menor que la real, etc.

Cualquier punto P del objeto emite rayos luminosos en todas las direcciones, algunos de los cuales llegan al ojo. En el dibujo hemos representado los dos rayos extremos que llegan al ojo. Cuando el rayo llega a la superficie de separación se desvía, alejándose de la normal (puesto que $n_{\text{agua}} > n_{\text{aire}}$). La intersección de las líneas de los rayos que llegan al ojo es el punto P' y el cerebro interpreta que los rayos proceden de ese punto. Por lo tanto, percibimos que el extremo del lápiz se encuentra en P' en lugar de en el punto P que es donde realmente está.

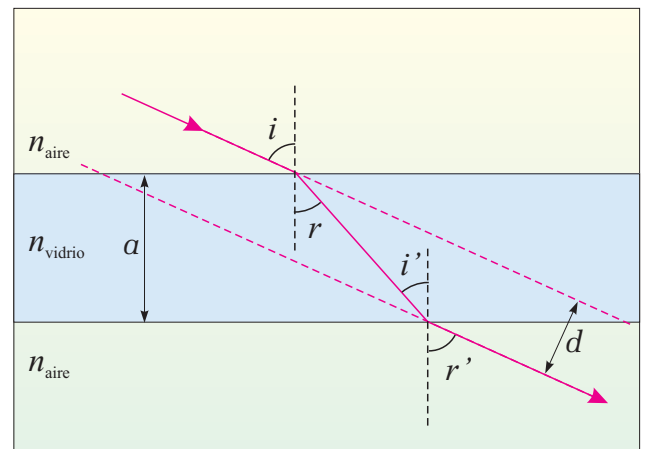


Los ejemplos anteriores corresponde a lo que se define como **dioptrio plano**. La imagen que se forma de un punto que se encuentre en el medio de mayor índice de refracción está más cerca de la superficie de separación que el punto objeto. Se produce una aproximación aparente del objeto.

El dioptrio plano sólo es estigmático para rayos que inciden con poca inclinación respecto a la normal.

Lámina de caras paralelas

Se trata de dos dioptrios paralelos consecutivos en los que los medios extremos coinciden, como por ejemplo una lámina de vidrio en el aire. En este caso la luz se desvía al pasar del aire al vidrio y de nuevo lo hace al pasar del vidrio al aire por la otra cara. La luz al emerger en el aire toma una dirección paralela a la que tenía al incidir en la primera cara. Las imágenes aparecen en una posición desplazada, tanto como lo haya hecho el rayo de luz.



A.9.- a) Demuestra que el ángulo que forma el rayo emergente con la normal (r') es igual al ángulo que forma el rayo incidente con la normal (i).

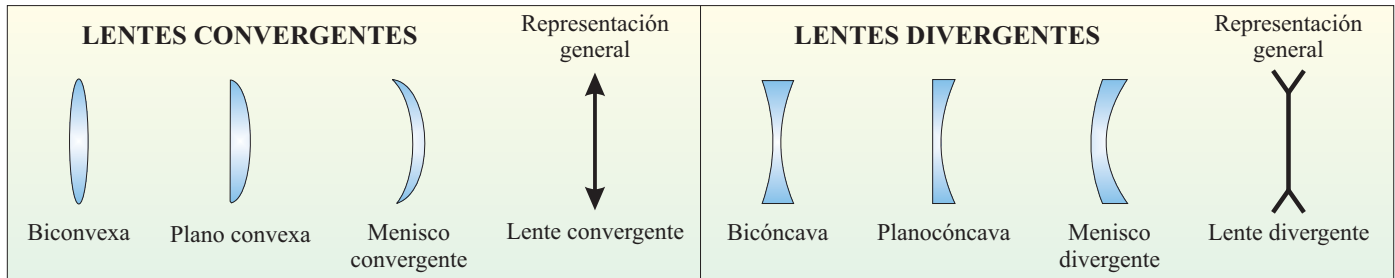
b) Demuestra que el desplazamiento lateral del rayo luminoso es $d = a \sin(i-r)/\cos r$, siendo a el grosor de la lámina.

3.1 Lentes delgadas

Una lente es un sistema óptico formado por un medio transparente que se encuentra limitado por dos dioptrios, uno de los cuales, al menos, es esférico, pudiendo ser el otro plano o esférico.

Según sean las superficies que delimitan a una lente se clasifican en **convergentes** y **divergentes**. Las lentes convergentes son más gruesas por el centro que por los extremos y existen de tres tipos: biconvexa, planoconvexa y menisco convergente.

En las lentes divergentes el centro es de menor espesor que los bordes. También existen tres tipos: bicóncava, planocóncava y menisco divergente.



Elementos de una lente

Los principales elementos que podemos considerar en una lente son:

- **Centros de curvatura:** son los centros de curvatura de las dos superficies, si no son planas, que forman ambas caras.

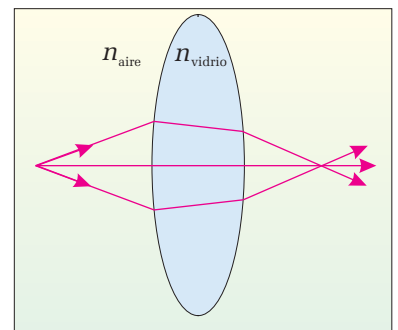
- **Centro óptico:** centro geométrico de la lente.

- **Eje principal:** línea recta que pasa por los centros de curvatura.

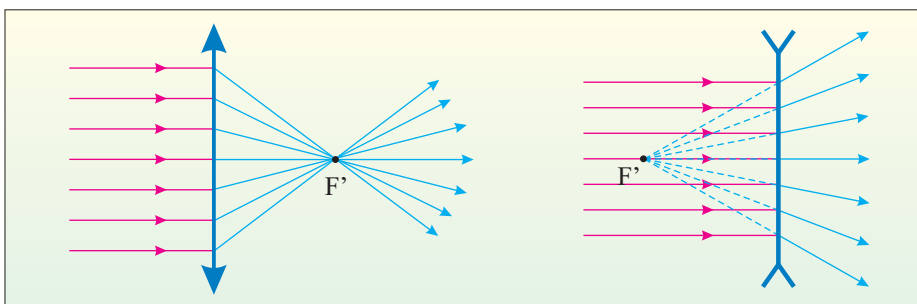
- **Foco imagen (F'):** punto del eje principal por el que pasan todos los rayos desviados por la lente que inciden paralelos al eje principal. En el caso de las lentes divergentes, por el foco imagen pasan las prolongaciones de los rayos.

- **Foco objeto (F):** los rayos que pasan por este punto del eje principal salen paralelos al eje principal en una lente convergente. En las divergentes sería la prolongación del rayo incidente la que pasaría por el foco objeto.

Los dos focos están equidistantes del centro óptico y cada uno a un lado. En las lentes convergentes el foco imagen se encuentra a la derecha mientras que el foco objeto se encuentra a la izquierda. En las lentes divergentes, el foco imagen se encuentra a la izquierda y el foco objeto a la derecha.



Las refracciones que se producen en las dos caras de una lente biconvexa hacen que los rayos converjan al atravesar la lente.



- **Distancia focal (f):** distancia entre un foco y el centro óptico. Depende del radio de curvatura y del índice de refracción del material que forma la lente. Cuanto mayor es el radio de curvatura mayor es la distancia focal y cuanto mayor es el índice de refracción menor es la distancia focal.

La distancia focal de una lente está relacionada con su potencia, que es su capacidad para desviar la luz. La potencia se mide en dioptrías y la distancia focal en metros.

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

3.2 Formación de imágenes en lentes delgadas

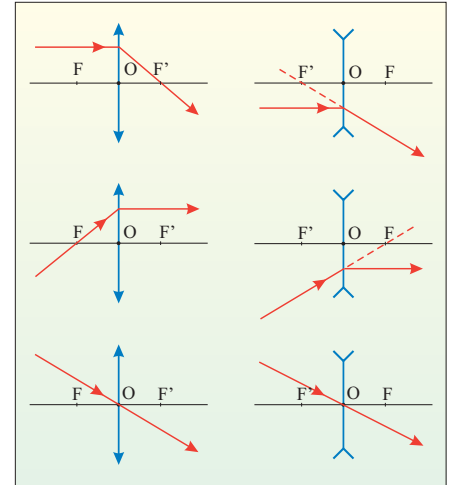
Para la construcción de imágenes en las lentes se adopta el convenio de suponer que los rayos procedentes del objeto se acercan por la izquierda de la lente.

Para determinar la posición y tamaño de la imagen que forma una lente de un objeto determinado, hay que dibujar dos rayos como mínimo, cuya trayectoria sea conocida, comprobando dónde se cortan tras refractarse en la lente.

De los rayos que emite un punto hay tres cuya trayectoria es conocida, a los que se denomina rayos principales.

1. Los rayos que lleguen paralelos al eje óptico pasan, tras refractarse, por el foco imagen.
2. Un rayo que pase por el foco objeto y se refracte en la lente emerge paralelo al eje óptico.
3. Un rayo que pasa por el centro óptico no modifica la dirección en la que se propaga.

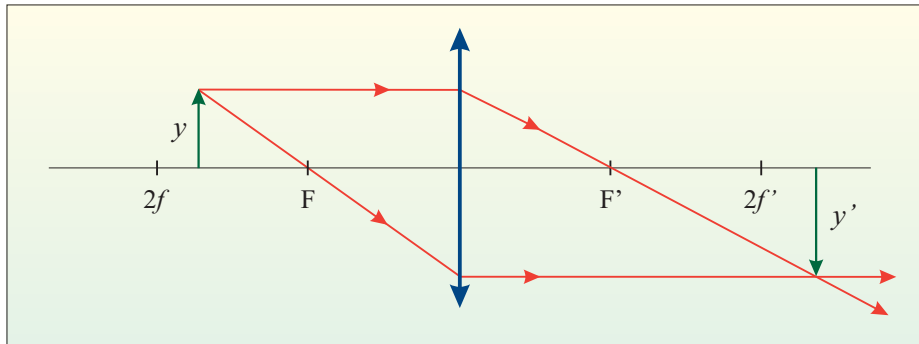
La imagen de un punto vendrá dada por la intersección de dos de esos rayos (se forma una imagen real), o de sus prolongaciones (se forma una imagen virtual).



Imágenes formadas por una lente convergente

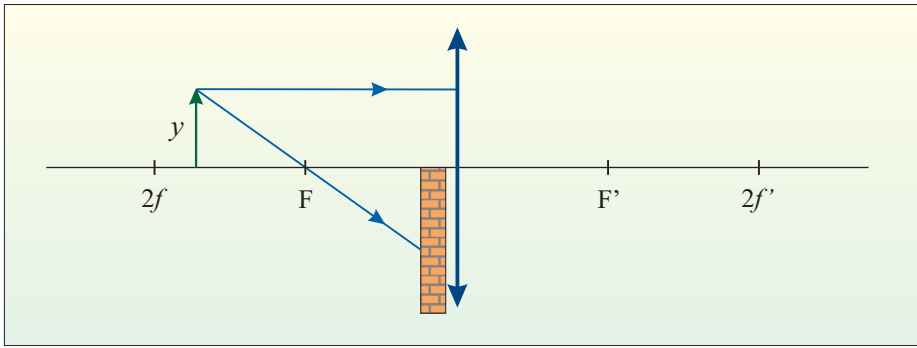
La figura representa la construcción de la imagen producida por una lente convergente cuando el objeto está colocado a una distancia entre una y dos veces la distancia focal.

Como puede observarse la imagen es real, invertida y de mayor tamaño que el objeto, situada a la derecha y estando a una distancia superior a $2f$.



- A.10.-** a) Construye la imagen dada por una lente convergente de un objeto colocado a una distancia mayor de dos veces la distancia focal.
 b) Construye la imagen dada por una lente convergente de un objeto colocado a una distancia de dos veces la distancia focal.
 c) Hazlo ahora colocando el objeto en el foco.
 d) Dibujar la imagen cuando el objeto está entre el foco objeto y el centro óptico de la lente convergente.

A.11.- Si tapamos media lente. ¿Qué imagen se formará? Por ejemplo, si en el dibujo anterior tapamos la mitad inferior de la lente, ¿cómo sería la imagen?



Características de la imagen formada en lentes convergentes

Objeto situado más allá de $2f$: **imagen real, invertida y de menor tamaño** que el objeto, situada a la derecha entre f' y $2f'$.

Objeto situado a $2f$: **imagen real, invertida y de igual tamaño** que el objeto, situada a la derecha a $2f'$.

Objeto situado entre $2f$ y f : **imagen real, invertida y de mayor tamaño** que el objeto, situada a la derecha a una distancia superior a $2f'$.

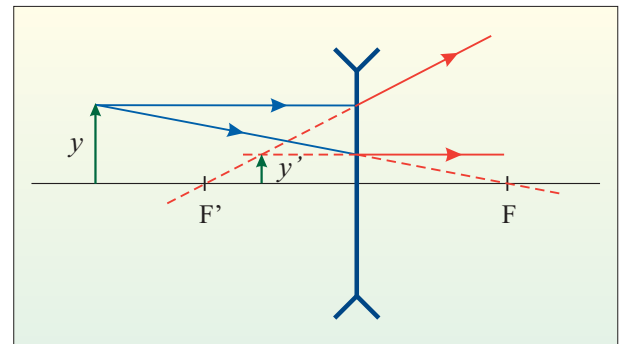
Objeto situado a f : **no se forma imagen**

Objeto situado entre f y la lente: **imagen virtual, derecha y de mayor tamaño** que el objeto.

Imágenes formadas por una lente divergente

Independiente de donde esté colocado el objeto, la imagen formada por una lente divergente es siempre virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto.

A.12.- Construye la imagen dada por una lente divergente cuando el objeto se encuentra a una distancia de la misma igual a la distancia focal. ¿Tiene las características mencionadas antes?



Características de la imagen formada en lentes divergentes

Imagen virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto y situada a la izquierda.

4

EL MECANISMO DE VISIÓN

No debemos olvidar que en la mayoría de las ocasiones percibimos las imágenes que hemos estudiado en este tema mediante nuestra visión; que incluso cuando formamos imágenes en pantallas, lo que observamos es una segunda imagen formada en nuestra retina. De ahí la importancia de conocer con más detalle el mecanismo de visión.

4.1 El ojo humano

El ojo humano tiene una forma esferoidal (globo del ojo). En la figura puedes ver el corte del ojo en esquema. El ojo posee:

Esclerótica: Membrana exterior del ojo.

Córnea: Parte frontal de la esclerótica. Es más convexa y transparente.

Nervio óptico: Unión del ojo con el cerebro.

Retina: El nervio óptico al llegar al ojo, se ramifica, formando una pared interior sensible a la luz. Consiste en varias capas de células sensibles a la luz y desempeña el papel del receptor de la luz. La parte de la retina más sensible a la luz recibe el nombre de mácula, es una zona amarillenta que se encuentra en el polo opuesto al de entrada de la luz en el ojo.

Punto ciego: Punto de la retina por el cual el nervio óptico entra en el globo del ojo. No es sensible a la luz.

Humor acuoso: Líquido que está detrás de la córnea.

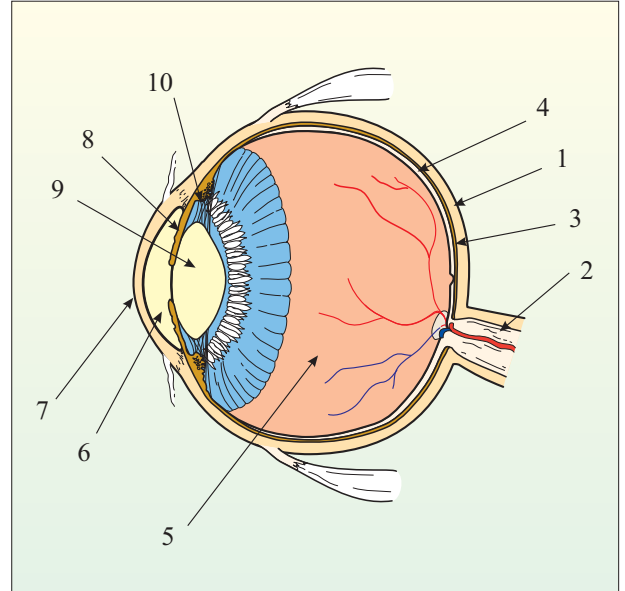
Iris: Detrás del humor acuoso separándolo del interior del ojo. El iris puede tener distintos colores, de ahí que existan personas con distintos colores de ojos.

Pupila: Es un agujero situado en el centro del iris. Su diámetro puede variar según las condiciones ambientales de luz.

Cristalino: Detrás del iris, es una lente convergente natural.

Músculo ciliar: Este músculo rodea al cristalino y bajo su acción lo puede cambiar de forma.

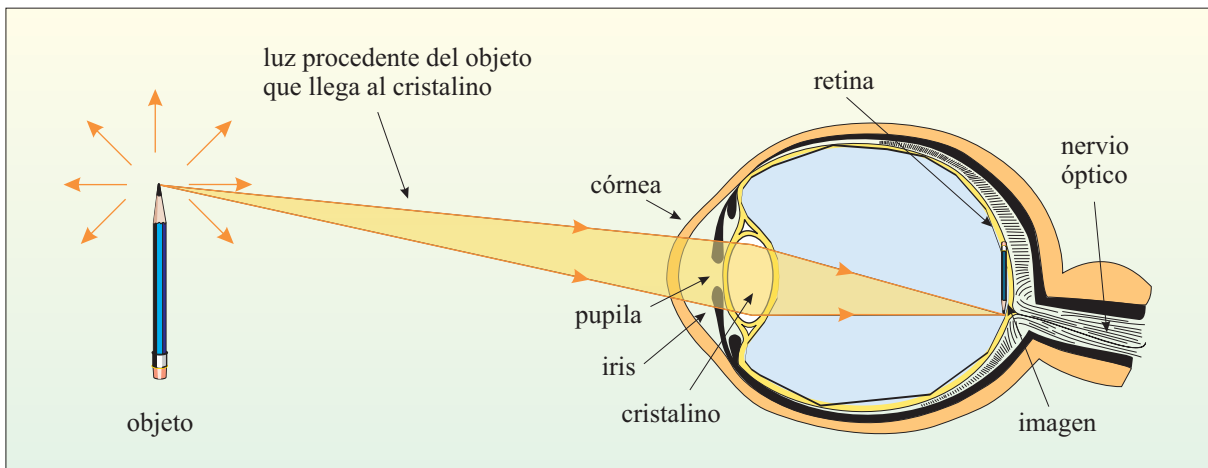
Humor vítreo: Líquido en el interior del ojo.



1. Esclerótica
2. Nervio óptico
3. Retina
4. Mácula o fóvea
5. Humor vítreo
6. Humor acuoso
7. Córnea
8. Iris
9. Cristalino
10. Músculo ciliar

Formación de imágenes en la retina

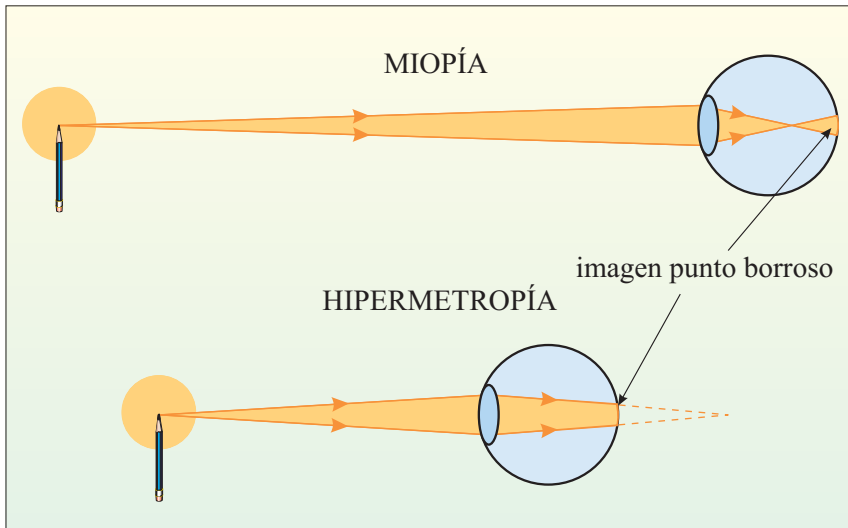
Al llegar los rayos de luz provenientes de un objeto al ojo, primero se encuentran con la córnea, capa muy curvada, seguido del humor acuoso ($n = 1,336$) en el que sufren una refracción importante. Tras ello entran en el cristalino (n promedio de 1,396) que actúa como una lente convergente biconvexa. Luego pasan a un fluido similar al humor acuoso, el humor vítreo, hasta llegar a la retina donde se forma la imagen.



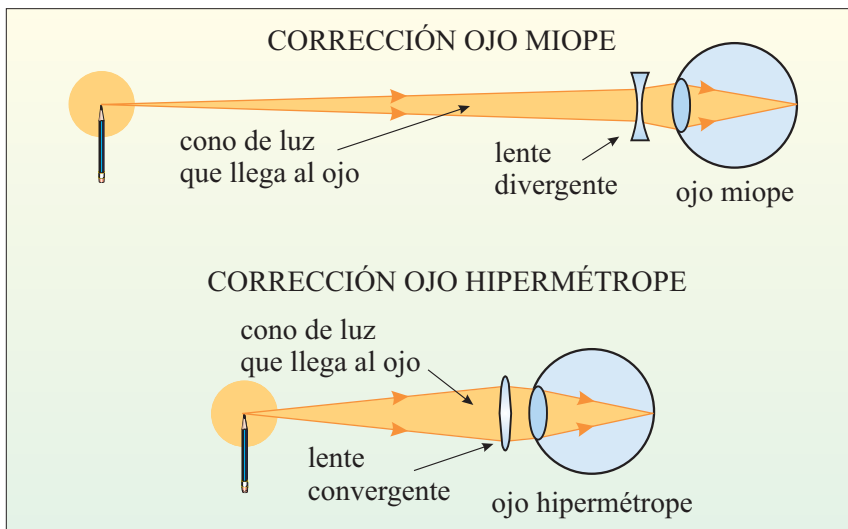
Defectos del ojo

Ya conoces que existen defectos visuales que se corrigen con gafas o lentillas; entre ellos, la miopía y la hipermetropía. En la miopía, cuando el ojo está en acomodación relajada (los músculos ciliares relajados) no se forma la imagen en la retina sino un poco delante de ella, por lo que los objetos lejanos los ve la persona miope borrosos. El ojo miope sólo puede enfocar objetos próximos. Suele ocurrir porque el globo es demasiado largo o porque la córnea presenta demasiada curvatura.

En la hipermetropía pasa al contrario, los objetos lejanos se ven bien, pero no así los cercanos, porque la imagen se forma por detrás de la retina. En este caso el globo ocular es demasiado corto o la córnea no tiene suficiente curvatura.



Usando lentes delante del ojo, podemos alejar o acercar la imagen a la retina y la persona verá nítidamente. Para esto necesitamos dos tipos de lentes distintas: convergentes para la hipermetropía y divergentes para la miopía.

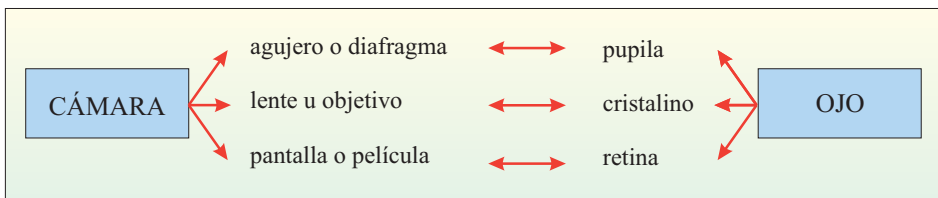
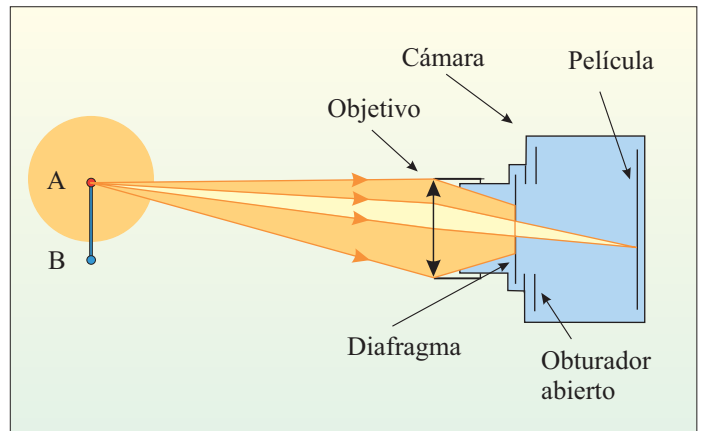


A.13.- Simulación de las correcciones visuales.

4.2 La cámara fotográfica

Es un aparato parecido en su funcionamiento al ojo. En esencia una cámara fotográfica comercial es una caja oscura con un orificio grande para que entre bastante luz, en una cara, y al fondo se coloca la película. Una o varias lentes, se colocan delante del agujero para dar nitidez a la imagen que se formará sobre la película. A la lente o sistema de lentes se les da el nombre de **objetivo** de la cámara. La película es sensible a la luz y una vez realizadas las fotos se la somete a un tratamiento químico: el revelado, que permite fijar las imágenes. Las cámaras comerciales están provistas de un **obturador** que tapa el orificio por donde entra la luz para que ésta no estropee la película. Cuando disparas la foto, el obturador abre el agujero y entra luz hasta la película volviendo a cerrarse a continuación. Otro elemento importante es el **diafragma** que hace más o menos grande el agujero por donde entra la luz. Si hay mucha luz el fotógrafo pondrá un diafragma pequeño y si hay poca, como ocurre en un día nublado o en el interior de una casa, abrirá el diafragma creciendo así el agujero y entrando más luz cuando dispare la foto. El visor nos permitirá ver la escena que vamos a fotografiar.

En realidad, de todos los elementos que componen una cámara fotográfica, sólo hay tres absolutamente necesarios: la cámara oscura, el agujero con o sin objetivo, y la película.



4.3 Otros instrumentos ópticos

Combinando distintas lentes se han construido diversos sistemas ópticos con diferentes fines como los que tratamos a continuación.

La lupa

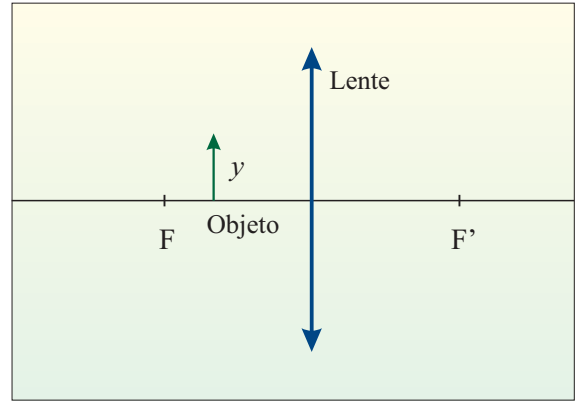
La lupa o lente de aumento es el más sencillo de los instrumentos ópticos. Consiste en una lente convergente que se coloca de forma que el objeto quede entre su centro y el foco, creándose así una imagen virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto.

El máximo aumento se produce cuando se coloca el objeto en el foco de la lupa. Aunque la imagen se forma en el infinito, el ojo puede concentrar esa luz en la retina sin esfuerzo de acomodación.

El aumento angular que proporciona una lupa es directamente proporcional a su potencia. Podemos decir que es igual a la cuarta parte de su potencia. El máximo aumento que se consigue con una lupa es 25, debido a que mayores aumentos exige lupas cuyas caras estén muy curvadas y eso produce aberraciones luminosas.

A.14.- a) Construye la imagen que forma una lupa según el diagrama adjunto, y comprueba que el aumento es mayor cuanto más próximo esté el objeto al foco.

b) Calcula el máximo aumento que se consigue con una lente convergente cuya distancia focal es 10 cm.

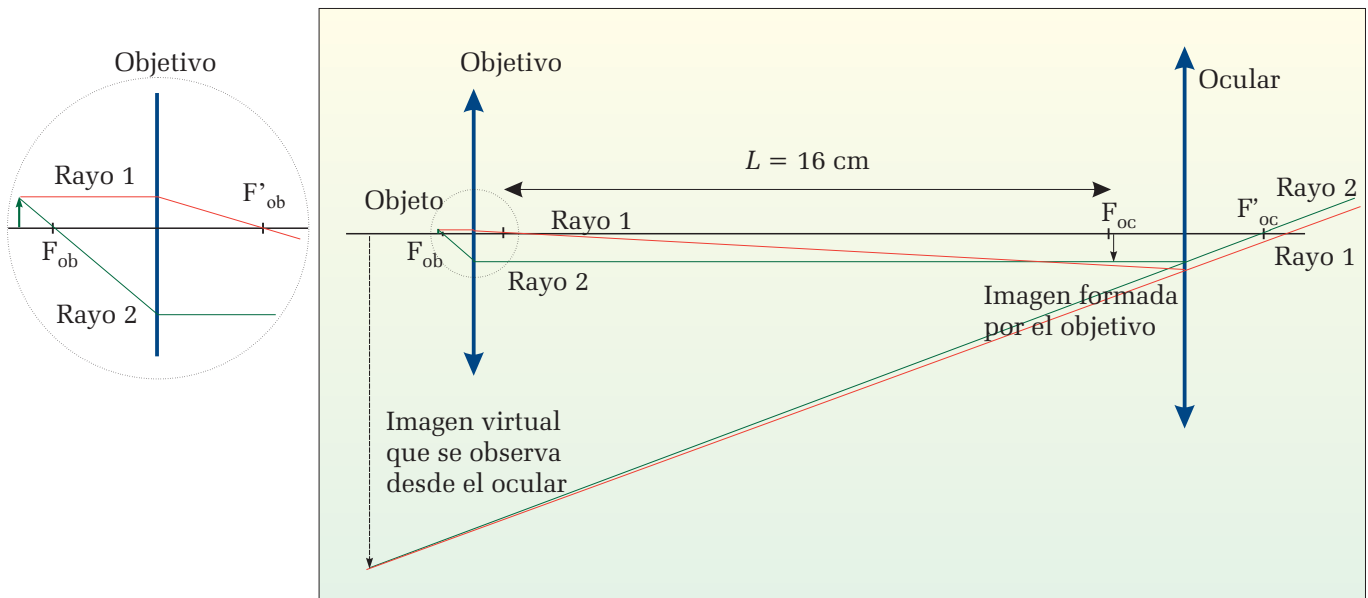


El microscopio

Se utiliza para observar objetos muy pequeños que están colocados a distancias muy cortas. El microscopio está formado por dos lentes, una de distancia focal pequeña, el **objetivo**, que se coloca cerca del objeto; y otra, el **ocular**, por donde se mira, de distancia focal mayor. Normalmente un microscopio tiene varios objetivos de distintos aumentos en una pieza rotatoria. Girándola se van intercambiando.

El objeto se coloca a una distancia del objetivo algo mayor que la distancia focal de esta lente. El ocular está colocado de forma que la imagen formada por el objetivo lo haga en foco objeto o muy cerca de él. La distancia entre el foco imagen del objetivo y foco objeto del ocular es fija, y en muchos microscopios es de 16 cm. El enfoque de un microscopio consiste en acercar o alejar el microscopio completo al objeto hasta que el ocular forme una imagen que el ojo perciba nítida.

La imagen dada por el ocular se debe formar a una distancia mínima de 25 cm del ocular, aunque normalmente se formará a una distancia mucho mayor. La imagen que da el microscopio es virtual, invertida y de mayor tamaño que el objeto.



En el dibujo anterior se representa la formación de la imagen creada por un microscopio compuesto. Puesto que el microscopio se utiliza para observar objetos de muy pequeño tamaño, hemos ampliado a la izquierda el objeto y las trayectorias seguidas por los rayos 1 y 2. De acuerdo como se ha hecho el dibujo, el ojo se debería colocar a la derecha del ocular.

El aumento que se consigue con un microscopio es el producto de los aumentos del objetivo y del ocular. Podemos calcular el aumento con la expresión:

$$Aumento = \frac{0,25 L}{f_{obj} f_{ocu}}$$

Se debe expresar el valor de L y de las distancias focales en metros.

A.15.- Calcula el aumento angular de un microscopio en que la distancia focal del objetivo es 2 cm y la del ocular es 4 cm, siendo $L = 16$ cm la distancia entre el foco imagen del objetivo y el foco objeto del ocular.

El telescopio

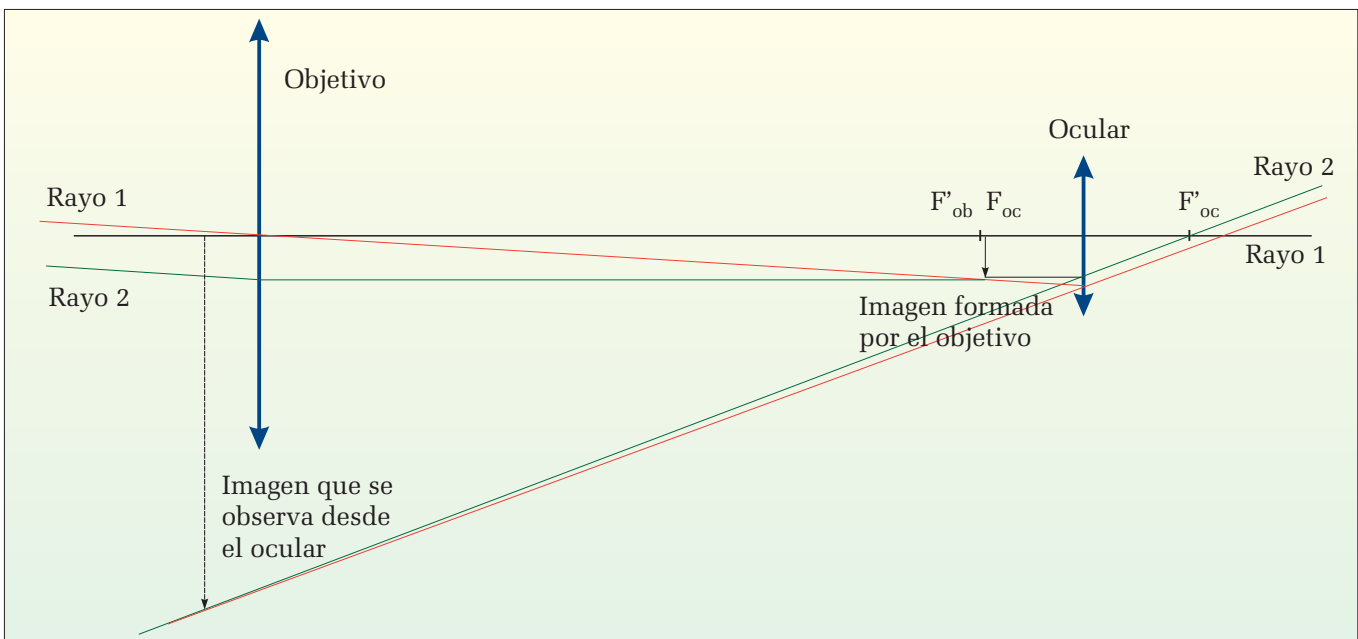
Es un sistema óptico que pretende producir una imagen cercana de un objeto lejano. Se parece al microscopio en que está formado por dos lentes convergentes, pero en este caso la distancia focal del objetivo acostumbra a ser mucho mayor que la del ocular. Además coincide la posición del foco imagen del objetivo con la posición del foco objeto del ocular. En este caso la distancia focal del objetivo es mayor que la del ocular.

Los telescopios se utilizan para observar objetos que se encuentran muy lejos. Podemos considerar que están en el infinito cuando se trate de construir las imágenes que se producen en un telescopio.

Teniendo en cuenta que se trata de observar objetos muy lejanos, la luz procedente de estos objetos tiene baja intensidad por lo que conviene utilizar objetivos de gran tamaño, de forma que aumente la luminosidad. Pero la construcción y manipulación de lentes de gran tamaño es problemática. Por eso, se construyen telescopios en los que el objetivo es un espejo cóncavo en lugar de una lente convergente. A los que utilizan como objetivo una lente se les llama telescopios refractores, y a los que utilizan un espejo se les llama telescopios reflectores.

Uno de los telescopios refractores más grandes está en la universidad de Chicago, en USA. El objetivo es una lente convergente de 102 cm de diámetro y una distancia focal de 19,5 m. La distancia focal del ocular es 10 cm.

El aumento que se consigue en un telescopio depende de la relación entre la distancia focal del objetivo y la distancia focal del ocular.



El dibujo anterior representa un diagrama de la imagen que forma un telescopio refractor. El objeto no se ha representado pues se supone que está muy alejado del telescopio.

El rayo 1 se supone que procede de un punto del objeto de forma que pasa por el centro óptico de la lente objetivo, por lo que no se desvía al atravesar la lente. El rayo 2 se supone que procede del mismo punto del objeto y pasa por el foco objeto de la lente objetivo, de forma que al atravesar la lente objetivo sigue paralelo al eje óptico.

ACTIVIDADES DE RECAPITULACIÓN

A.1.- Un haz de luz roja penetra en una lámina de vidrio, de 30 cm de espesor, con un ángulo de incidencia de 45° .

a) Explica si cambia el color de la luz al penetrar en el vidrio y determina el ángulo de refracción.

b) Determina el ángulo de emergencia (ángulo del rayo que sale de la lámina con la normal). ¿Qué tiempo tarda la luz en atravesar la lámina de vidrio?

Dato: $n_{\text{vidrio}} = 1,3$.

A.2.- Compara lo que ocurre cuando un haz de luz incide sobre un espejo y sobre un vidrio de ventana.

A.3.- a) Un objeto se encuentra frente a un espejo plano a una distancia de 4 metros del mismo. Contruya gráficamente la imagen y explique sus características.

b) Repita el apartado anterior si se sustituye el espejo plano por uno cóncavo de 2 m de radio.

A.4.- Dibuja un globo ocular y nombra cada una de sus partes principales indicando su misión.

A.5.- ¿Puede formarse una imagen real con un espejo convexo? Razona la respuesta utilizando los esquemas que consideres oportunos.

A.6.- a) Indica qué se entiende por foco y por distancia focal de un espejo. ¿Qué es una imagen virtual?

b) Con ayuda de un diagrama de rayos, describe la imagen formada por un espejo convexo para un objeto situado entre el centro de curvatura y el foco.

A.7.- Construye la imagen de un objeto situado a una distancia entre f y $2f$ de una lente:

a) Convergente.

b) Divergente.

Explica en ambos casos las características de la imagen.