



PAC
Preparación Acceso a
CFGS
Física

Vibraciones y ondas. Óptica:
Óptica geométrica

1. Introducción

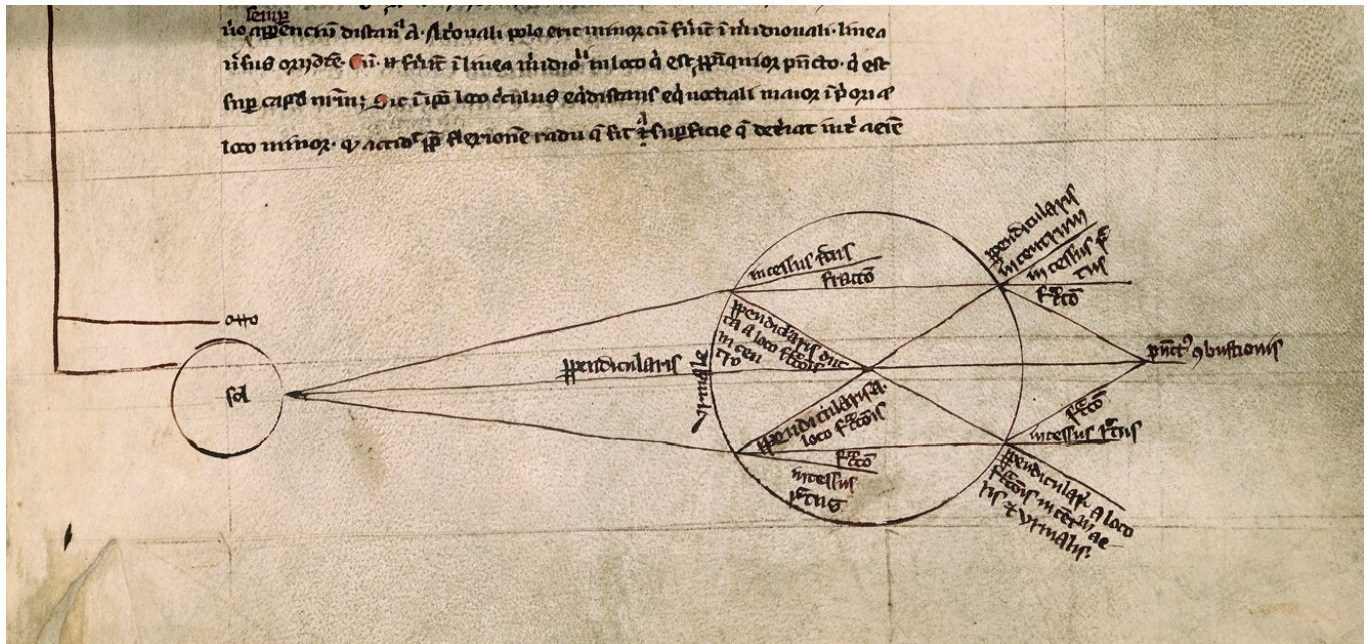


Imagen de Leinad-Z en Wikimedia Commons. [dominio público](#)

Ya has aplicado las propiedades de la luz como onda electromagnética, y sabemos qué le ocurre a la luz cuando se propaga a través de diferentes medios, pero falta todavía algo importante, averiguar las trayectorias de la luz a través de diferentes medios. Para ello, se te mostrará una serie de construcciones puramente geométricas.

En la óptica geométrica debemos tener en cuenta las leyes de la refracción y reflexión, y además recordar que:

- La luz se propaga en línea recta en los medios homogéneos e isótropos (nos detendremos en esto en el siguiente apartado).
- Para caracterizar la luz utilizamos el concepto de rayo luminoso, esto es una línea imaginaria en la dirección de propagación de la luz.
- El concepto de índice de refracción, lo utilizamos para caracterizar las propiedades ópticas del medio en el que se propaga la luz. Recuerda que se define como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío (c) y en el medio que se trate (v):

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

- Principio de Fermat: Cuando la luz viaja entre dos puntos, lo hace por el camino en el que el tiempo invertido es el mínimo posible.

2. Propagación rectilínea

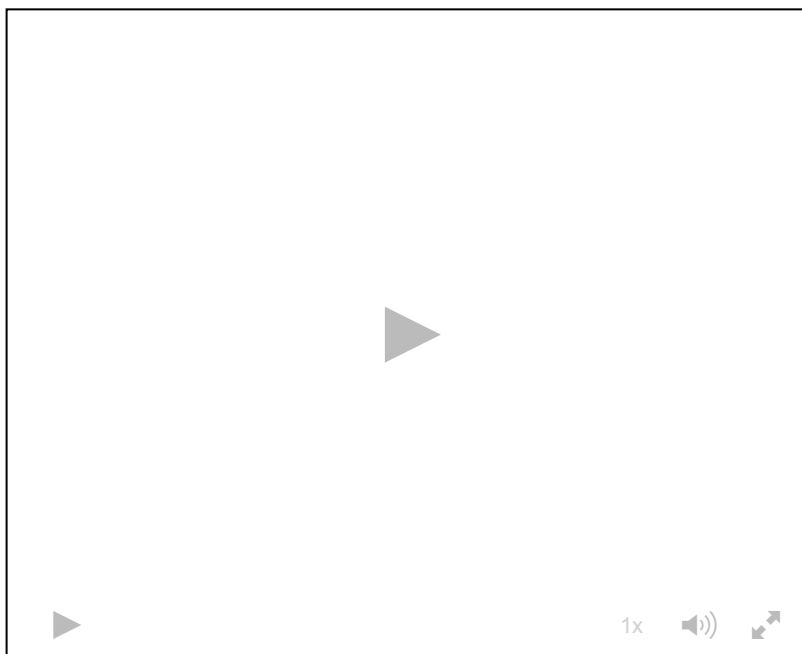
La luz se propaga en todas las direcciones. Sólo tienes que encender una bombilla en una habitación a oscuras para comprobarlo, toda la habitación se ilumina, luego puedes concluir que la luz ha viajado en todas las direcciones.

Pero cambiemos ahora el experimento. Si en una habitación a oscuras dejas que la luz pase solo por un pequeño orificio, observarás que las trayectorias del paso de luz son rectilíneas. Como ejemplo que ilustre, mira la siguiente foto: el paso de luz a través de los ventanales que se observa en la estación de Chicago en 1943:



[Imagen](#) de Jack Delano en Wikimedia. [dominio público](#)

Las trayectorias rectilíneas de la luz explican muy bien la **formación de sombras y penumbras**. Fíjate bien en la siguiente animación y observa que las sombras se producen siempre detrás un cuerpo opaco que se interpone en las trayectorias de la luz de una fuente luminosa. Observa que, si la fuente es puntual, sólo produce sombras. Sin embargo, cuando la fuente es extensa, además de las sombras, se producen penumbras, que son zonas que ocultan parte de la luz que proviene de la fuente de luz.



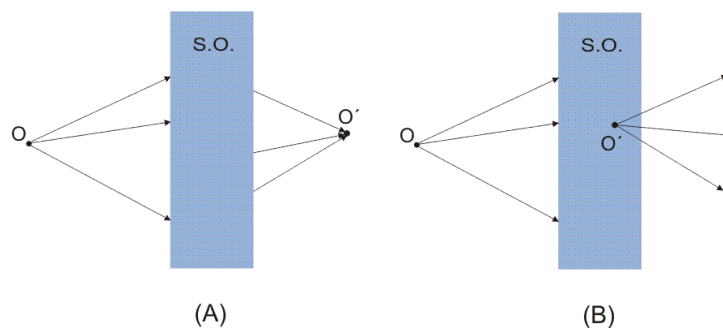
Grabación de Animación en [EDUCAPLUS](#) de Jesús Peña Cano

3. Definiciones y criterio de signos

En este apartado vas a asimilar algunos conceptos que te serán de mucha utilidad más adelante.

Sistema óptico: Es un conjunto de superficies que separan medios transparentes, homogéneos e isótropos de diferente índice de refracción. En la práctica un sistema óptico es un conjunto de una o más lentes y/o espejos. Si todas las superficies son refractantes (lentes) el sistema se llama dióptrico, si solo tiene espejos se llama catóptrico, y si tiene espejos y lentes se llama catadióptrico.

Objeto e imagen: Observa la figura y recuerda que un sistema óptico (S.O.) puede ser una o varias lentes, uno o varios espejos, o una combinación de ambas cosas. Imagina que el punto O es un punto del parten los rayos luminosos (porque emite o porque refleja la luz). Si, después de pasar los rayos que parten de O por el sistema óptico, se vuelven a juntar al otro lado en un punto O', a este punto (O') se le llama **imagen** de O, y al punto O se le llama **objeto**.



[Imagen](#) de Juancarcole en Wikimedia Commons. [CC](#)

Si los rayos parten realmente de O y se cortan realmente en O' se dice que son **objeto e imagen reales** (figura A). En cambio, si los rayos de salida son divergentes (figura B), lo que podremos juntar son las prolongaciones. En este caso la **imagen** se llama **virtual**.

PUNTOS NOTABLES

- Llamaremos **foco imagen (F')** al punto en el cual convergen los rayos que inciden paralelos al sistema óptico. La distancia entre el vértice y este punto se llama **distancia focal imagen (f')**.
- Se llama **foco objeto (F)** al punto del espacio objeto que cumple que los rayos que proceden de él emergen paralelos después de pasar por el dioptrio. La distancia entre este punto y el vértice O se llama **distancia focal objeto (f)**

Estas definiciones permiten construir geométricamente la imagen que genera un dioptrio. Como muestra, observa el siguiente esquema, que representa un caso típico de marcha de rayos.

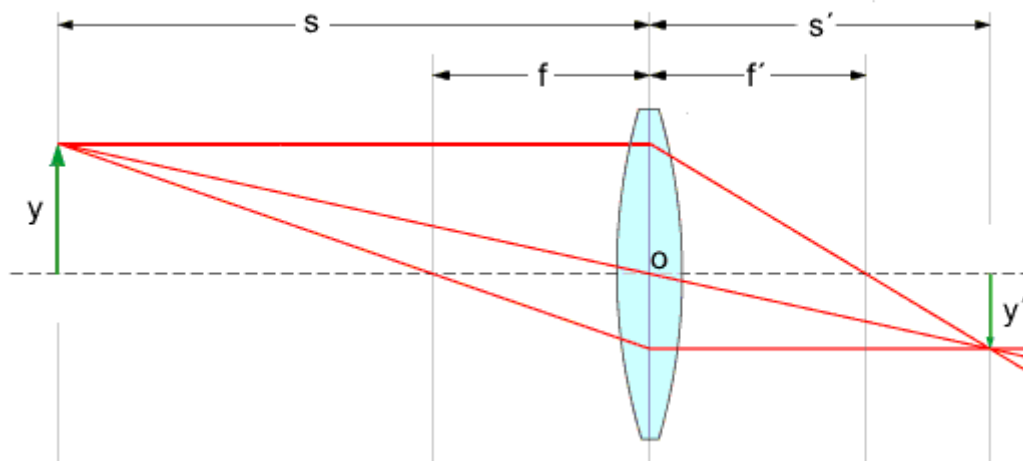


Imagen de Anastasius zwerg adaptada en Wikimedia Commons. [CC](#)

CRITERIO DE SIGNOS

Es necesario definir un criterio para unificar, tomaremos pues un acuerdo de referencia .

El criterio es arbitrario pero es el universalmente aceptado. Fíjate en la imagen anterior y ve leyendo los puntos que se indican a continuación:

- El objeto es el lugar desde el cual parten los rayos luminosos (en el ejemplo es la flecha verde de la izquierda), la imagen (en nuestro dibujo la flecha verde a la derecha) donde convergen una vez atravesado el sistema óptico (lentes, espejos, .) que sea.
- La luz viaja de izquierda a derecha; de esta forma, la luz incidente que llega al sistema óptico lo hace siempre por la izquierda y se propaga por la derecha.
- El origen de coordenadas, O , es el vértice. Las distancias verticales serán positivas por encima del eje óptico y negativas por debajo, y las horizontales negativas a la izquierda y positivas a la derecha del mismo. En el dibujo son positivas y , f' , s' y son negativas y' , f , s .
- Los radios de curvatura (R) de las superficies de los elementos ópticos son positivos si el centro de curvatura se encuentra detrás de la superficie (es decir, en el lado que se produce la transmisión) y negativos en el caso contrario. Dicho en otras palabras: es positivo si está a la derecha del vértice y negativo si se encuentra a su izquierda.

Ejercicio resuelto

Explica qué es una imagen real y una imagen virtual, y señala alguna diferencia observable entre ellas.

Mostrar retroalimentación

Los sistemas ópticos pueden generar imágenes reales o virtuales. Una imagen real se obtiene por intersección de los rayos que emergen del sistema óptico. Si a la salida del sistema óptico los rayos divergen, la imagen, virtual en este caso, se obtiene por intersección de las prolongaciones de los rayos.

Las imágenes reales pueden recogerse en una pantalla, las virtuales no.

4. Dioptrios

En el año 2006, se recogió un fenómeno que sorprendió a miles de turistas y residentes de una ciudad de la provincia de Shandong, famosa por los espejismos. Pudieron ver como si lo hubiera realizado Houdini o David Copperfield, casi por arte de magia, una ciudad imaginaria con rascacielos, calles, coches e incluso personas por más de cuatro horas. Penglai, el nombre de la ciudad, se localiza en el punto más extremo de la península de Shandong. El lugar tocado por los dioses era considerado en la antigua China como una morada de para los seres superiores: todo era debido a la proliferación de este tipo de visiones de ensueño.

Bien podría ser parte de una leyenda, en la que un emperador chino envió una flota a conquistar unas islas flotantes, que en ocasiones se han visto y se han asociados a tortugas gigantes, o quizás han fomentado la imaginación de James Cameron en la producción de la película de *Avatar*. No obstante, esas maravillas se basan en fenómenos lumínicos como la refracción y la reflexión.



Imagen de [Andrés Nieto Porras](#) en Wikimedia Commons. [CC](#)



[Imagen](#) de Tom Ruenen Wikimedia Commons. [CC0](#)

Estas particularidades pueden ser explicadas desde la óptica y, por supuesto, se debe empezar por los modelos más simples posibles, lo complicado lo dejamos para el futuro.

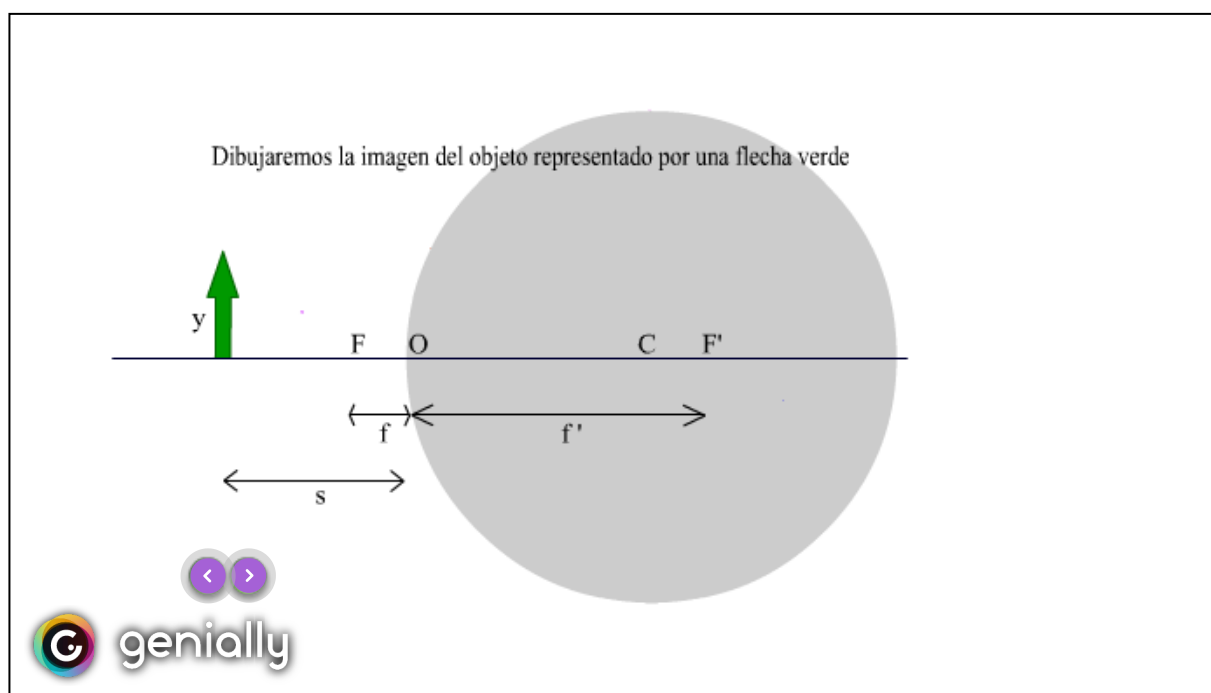


4.1 Dioptrio esférico

Comencemos por el caso más sencillo, el dioptrio esférico. Es una superficie esférica que separa dos medios de índice de refracción diferente. Un ejemplo de esto es una gota de agua.

Se ha de seguir la estrategia geométrica que a continuación se muestra para construir la imagen que da un sistema óptico de un objeto. La idea es trazar dos (o tres) rayos imaginarios de los cuales sabemos cómo se comportan cuando entran en el dioptrio.

En la siguiente animación puedes ir viendo paso a paso el proceso, no olvides leer lo que ocurre en cada paso.



Animación de elaboración propia

La construcción de la imagen obedece a la **ecuación fundamental del dioptrio esférico**, puedes profundizar en su estudio con [este enlace](#).

$$-\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{r}$$

Esta ecuación permite averiguar dónde se encuentra la imagen (s') conociendo las características del dioptrio (es decir, su radio r y los medios que separa, n y n') y la distancia al objeto (s). La única condición de validez de esta ecuación es que los ángulos sean muy pequeños, condición conocida por aproximación paraxial.

Además, permite establecer la relación que existe entre el tamaño de la imagen (y') y el tamaño del objeto (y) a través de la fórmula del **aumento lateral**:

$$A_L = \frac{y'}{y} = \frac{s' \cdot n}{s \cdot n'}$$

Ejercicio resuelto

A partir de la ecuación fundamental, deduce una expresión para las distancias focales

Mostrar retroalimentación

La distancia focal imagen podemos obtenerla simplemente llevando la posición del objeto hasta el infinito ($s \rightarrow \infty$) y despejando f' .

$$-\frac{n}{\infty} + \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{r} \longrightarrow f' = r \frac{n'}{n' - n}$$

La distancia focal objeto podemos obtenerla llevando la posición de la imagen hasta el infinito ($s' \rightarrow \infty$) y despejando f .

$$-\frac{n}{f} + \frac{n'}{\infty} = \frac{n' - n}{r} \longrightarrow f = -r \frac{n}{n' - n}$$

Observa que, si dividimos las dos expresiones, obtenemos:

$$\frac{f}{f'} = -\frac{n}{n'}$$

4.2 Dioptrio plano

Un dioptrio plano es cualquier superficie que separa dos medios diferentes. Un ejemplo muy simple de esto es la superficie de un vaso de agua, ¿no has observado alguna vez un lápiz parcialmente sumergido en agua? Seguro que has curioseado ese efecto que parece torcer la parte sumergida del lápiz, o el efecto por el cual el fondo de una piscina parece estar mucho más cerca de lo que está en la realidad.



Imagen de [Velual](#) en Wikimedia. [GNU](#) Imagen de [Sandstein](#) en Wikimedia. [CC](#)

La explicación de estos fenómenos se encuentra, sin duda, en la ley de refracción de Snell aplicada en el dioptrio. Matemáticamente, se puede tratar un dioptrio plano como si fuera un dioptrio esférico de radio de curvatura infinito. De esta forma, la **ecuación del dioptrio plano** se obtiene haciendo $r \rightarrow \infty$ en la ecuación fundamental del dioptrio esférico:

$$-\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{\infty} \rightarrow -\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = 0 \rightarrow s' = \frac{n'}{n}s$$

De la expresión anterior puedes deducir fácilmente que, si $n' < n$, resulta $s' < s$. Es decir que si la luz viaja, por ejemplo, desde el agua (n) hasta el aire (n'), la imagen se forma más cerca de la superficie que el objeto. El siguiente esquema es un ejemplo de la situación anterior.

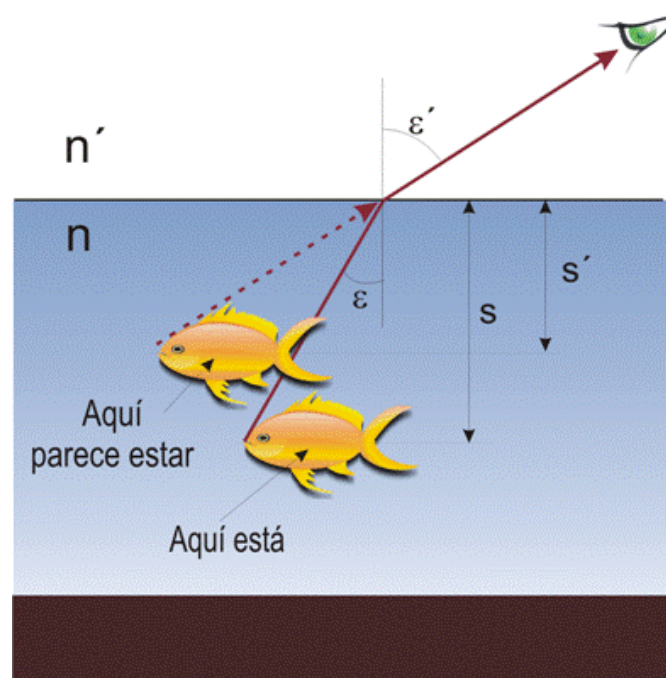


Imagen de [Juan Carlos Collantes](#) en INTEF. [CC](#)

Para que seas capaz de ver el pez es preciso que la luz se refracte y llegue hasta tus ojos. El cerebro interpreta que la luz viaja en línea recta y comete el error, interpretando que el pez se encuentra más cerca de la superficie de lo que, en realidad, lo está. Además, puedes notar que la imagen es construida a partir de la prolongación de rayos en el medio acuoso por lo que la imagen es virtual.

Es importante entender que las imágenes virtuales son puramente subjetivas y no existen realmente, si te vas al lugar donde se encuentra esta imagen y colocas un detector (el ojo, una cámara fotográfica, etc.) allí no hay nada. La imagen la construye el cerebro a partir de la prolongación de los rayos. Como se verá en el último capítulo, las imágenes virtuales juegan un papel muy importante en los instrumentos ópticos.

Ejercicio resuelto

¿Por qué la profundidad real de una piscina llena de agua es siempre mayor que la profundidad aparente?

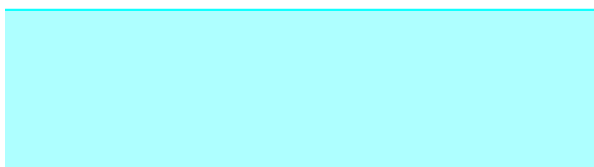
Mostrar retroalimentación

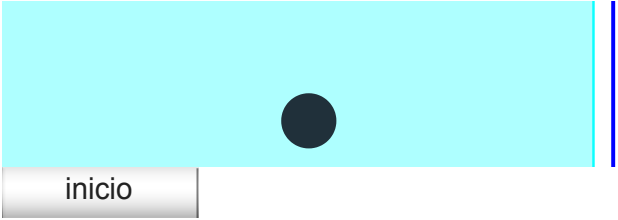
La superficie de la piscina es un dioptrio plano. La siguiente escena te permite ir construyendo paso a paso la imagen de un objeto puntual que se encuentra en el interior de un medio de índice n . Observa cómo, según el trazado de rayos, la imagen del punto está más cerca de la superficie que el objeto.

créditos

config

Empieza





Elaboración propia



5. Espejos

Se define espejo como una superficie opaca y pulida que permite la reflexión de los rayos luminosos.

En este apartado se estudiarán dos tipos de espejos: los espejos esféricos y los espejos planos. Además, los espejos esféricos pueden ser **cóncavos** si su radio es $r < 0$ y **convexos** si su radio es $r > 0$. Así, si la luz viaja de izquierda a derecha, los espejos cóncavos tienen la forma de cierre de paréntesis, **)**, y los convexos la forma de apertura de paréntesis, **(**.

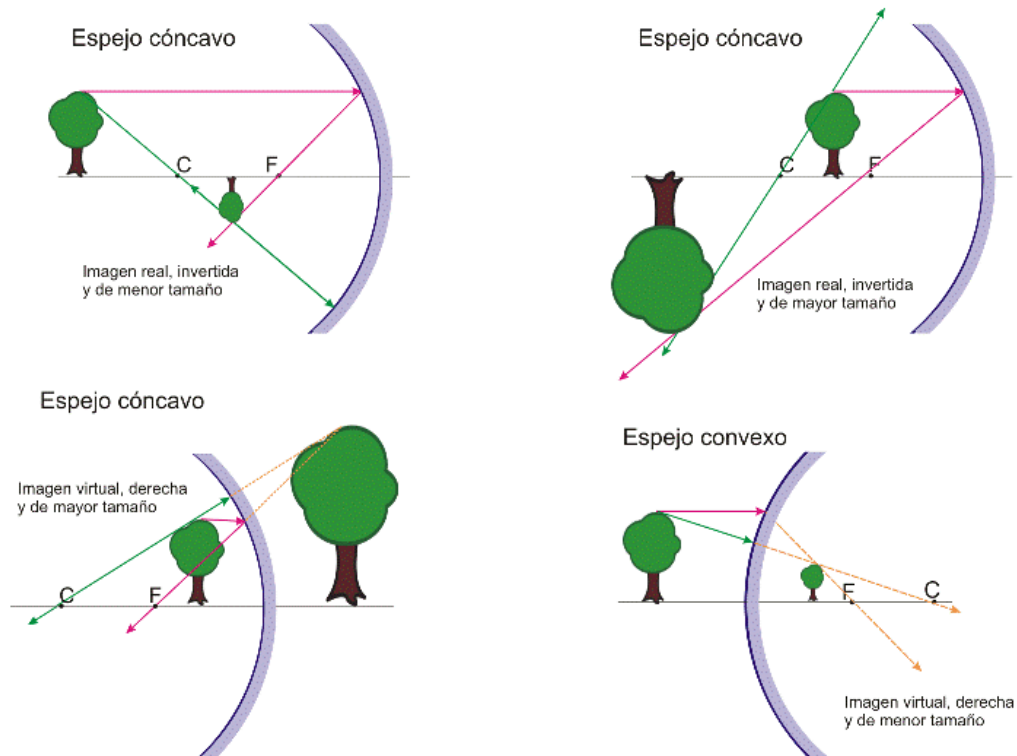
De los espejos, como de cualquier sistema óptico, nos interesan dos cosas:

1. ¿Cómo se construyen geoméricamente las imágenes que da un espejo?
2. ¿Cómo calculamos analíticamente las características de esta imagen: **posición, tamaño y naturaleza**?

En cuanto a la primera cuestión aquí tienes unos dibujos que te pueden aclarar cómo se forma la imagen. Observa que, en todos ellos, trazamos dos rayos de los cuales se conoce cómo van a salir después de pasar por el espejo:

- El primero: paralelo al eje óptico, este sale dirigido hacia el foco.
- El segundo: dirigido hacia el centro. Este se refleja en la misma dirección y sentido contrario ya que incide perpendicular al espejo

Formación de imágenes en espejos esféricos



En cuanto a lo segundo, podemos calcular la posición de la imagen a partir de la ecuación general del dioptrio plano suponiendo que la reflexión es un caso particular de la refracción en la que $n' = -n$.

Esto se justifica a partir de la ley de Snell (recuerda, $n \cdot \sin \varepsilon = n' \cdot \sin \varepsilon'$). Como en la reflexión $\varepsilon = -\varepsilon'$, los índices están relacionados así: $n = -n'$

Sabiendo esto y teniendo en cuenta que en un espejo $f = f' = r/2$ resulta:

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

En cuanto al tamaño de la imagen, utilizaremos la fórmula del aumento lateral:

$$A_L = \frac{y'}{y} = \frac{s' \cdot n}{s \cdot n'} = \frac{s' \cdot (-n)}{s \cdot n} = -\frac{s'}{s}$$

Las características de la imagen se deducen al aplicar estas fórmulas a un problema concreto. Para ello recuerda el convenio de signos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Si $s' > 0$, la imagen estará detrás del espejo y, por tanto, será virtual. Lógicamente, si $s' < 0$ la imagen es real.
- Si $y' < 0$ La imagen estará invertida, siempre que el objeto esté derecho ($y > 0$).
- Si $|A_L| > 1$ la imagen estará aumentada, Si $|A_L| < 1$ estará disminuida.

Ejercicio resuelto

Dibuja un esquema que represente la imagen que da un espejo cóncavo de un objeto situado en su centro

Mostrar retroalimentación



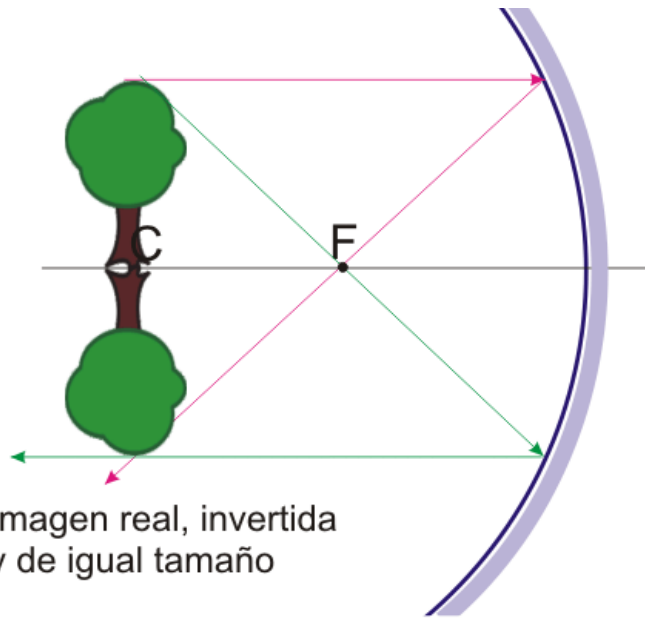


Imagen real, invertida
y de igual tamaño

Imagen en Wikimedia Commons de [Juancarcole](#)
bajo licencia [CC](#)

5.1 Espejo plano

Estudiemos a continuación el caso del espejo plano.

La figura que sigue representa la marcha de dos rayos cualesquiera para un objeto que se encuentra frente a un espejo. El rayo reflejado de cada uno de ellos forma un ángulo (en la figura θ_r) igual al ángulo de incidencia (θ_i). También se han dibujado dos rayos perpendiculares al espejo, por la misma razón que antes estos rayos no se desvían.



Imagen de [Cgs](#) en Wikimedia. [GNU](#)

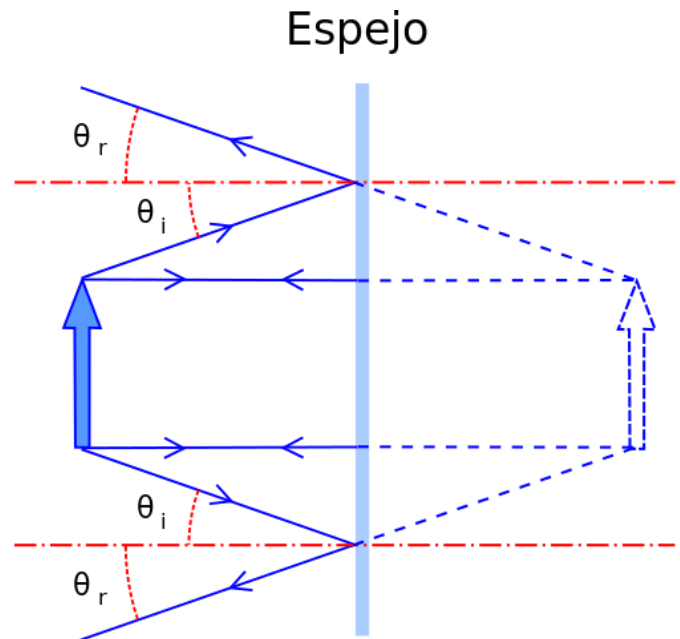


Imagen de [Jfmelero](#) en Wikimedia. [GNU](#)

Como los rayos reflejados son divergentes, la imagen se obtiene prolongando estos rayos al otro lado del espejo. Igualmente, es posible calcular la posición de la imagen utilizando la fórmula obtenida en el apartado anterior y suponiendo que un espejo plano es equivalente a un espejo esférico de radio infinito.

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{\infty} = 0 \rightarrow s' = -s$$

De la misma manera y desde la fórmula del aumento lateral se logra fácilmente $A_L = \frac{-s'}{s} = 1$

En resumen, la imagen que se ve es virtual, detrás del espejo, derecha, de igual tamaño y a la misma distancia del espejo que el objeto.

6. Lentes delgadas

Fíjate en esta secuencia de imágenes:



Imagen de [Frank C. Müller](#)

en Wikimedia. [CC](#)



Imagen de [Arbeiterreserve](#)

en Wikimedia. [CC0](#)



Imagen de [Julo](#) en Wikimedia.

[CC0](#)



Imagen de [Jgaguiar16](#)

en Wikimedia. [CC](#)



Imagen de [Mavavf](#)

en Wikimedia. [CC](#)

La serie de objetos son de uso más o menos cotidiano, con un factor común. Todas presentan un sistema óptico formado por lentes.

Una lente es cualquier elemento transparente, homogéneo e isótropo, limitado por dos superficies de la cuales, al menos, una es curva. Su función es hacer que la luz converja o diverja, según interese y, aunque hay lentes de muchos tipos, todas ellas basan su funcionamiento en las leyes de la refracción ya conocidas.

Para poder calcular la desviación de los rayos es preciso realizar una consideración: las **lentes han de ser delgadas**. Esto significa suponer que las distancias desde el vértice y desde el centro de la lente son las mismas.

En la figura siguiente puedes ver los tipos de lentes más frecuentes y sus representaciones esquemáticas:

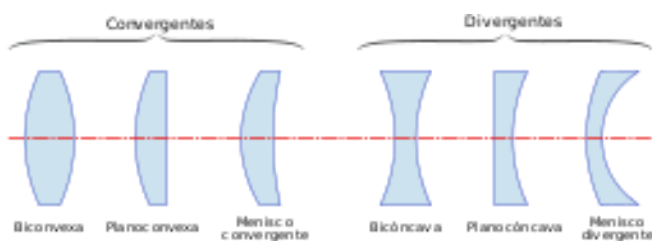


Imagen de Guam modificada por Jfmelero en Wikimedia Commons. [CC](#)



Imagen de CharoSaa en Wikimedia Commons. [CC](#)

Como ocurría con los espejos, las lentes forman una imagen de los objetos de los cuales les llega la luz. Podemos conocer dónde se encuentra esa imagen utilizando la llamada **ecuación fundamental de las lentes delgadas**:

$$-\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right)$$

En esta expresión hemos tenido en cuenta que la lente tiene un índice de refracción n y que está situada en el aire. La imagen siguiente te ayudará a comprender mejor esta fórmula.

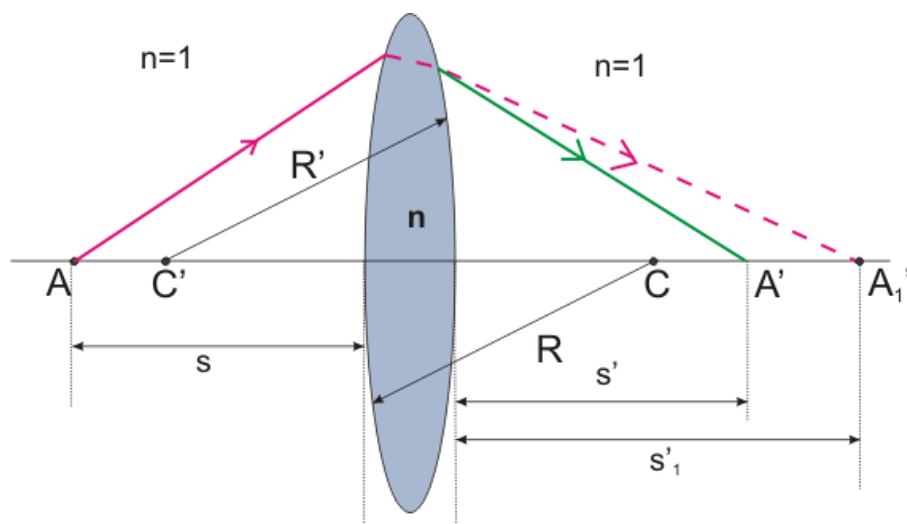


Imagen de Juancarcole en Wikimedia Commons. [CC](#)

Por otra parte, de la ecuación fundamental podemos calcular la distancia focal f' . Para ello hacemos $s=\infty$. En ese caso $s'=f'$ y obtenemos la llamada **fórmula del constructor de lentes**:

$$\frac{1}{f'} = (n-1) \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'} \right)$$

Ejercicio resuelto

Deduce la ecuación fundamental de las lentes delgadas a partir de la figura anterior y de la ecuación del dioptrio

Mostrar retroalimentación

Si observas detenidamente la imagen anterior percibirás que la lente delgada se puede considerar como la unión de dos dioptrios esféricos de radios R y R' . El primer dioptrio crea una imagen del punto A . Esta imagen A_1' sirve como objeto virtual para el segundo dioptrio, que crea finalmente de él una imagen en A' .

Si aplicamos la ecuación fundamental al primer dioptrio esférico resulta:

$$\frac{n}{s_1'} - \frac{1}{s} = \frac{n-1}{R}$$

Y si se vuelve hacer para el segundo:

$$\frac{1}{s'} - \frac{n}{s_1'} = \frac{1-n}{R'}$$

$$s' = s'_1 = R'$$

Sumando ambas expresiones se logra alcanzar el objetivo que se desea

$$-\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right)$$

6.1 Obtención de imágenes por lentes

Como ocurría con los espejos de las lentes delgadas nos interesan fundamentalmente dos cosas:

1. Saber cómo se construye geométricamente la imagen que forma una lente de un objeto cualquiera, y
2. averiguar analíticamente las características de la imagen: dónde se forma, tamaño, etc..

Vamos paso a paso:

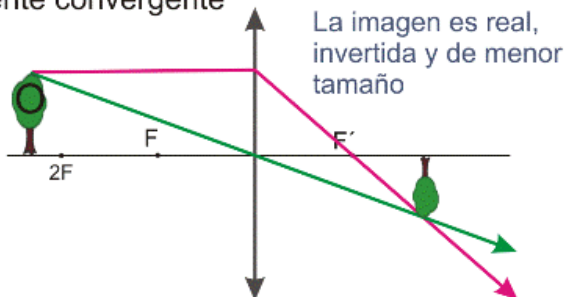
1) La construcción geométrica de imágenes en una lente delgada se hace básicamente igual que en un espejo. Se trata de trazar un conjunto de rayos de los cuales sabemos cómo se comportan después de pasar por la lente. En este sentido se deberán trazar siempre, al menos, dos de los siguientes rayos, llamados rayos principales:

- Los rayos que inciden paralelos emergen pasando por el foco.
- Los rayos que inciden pasando por el foco emergen paralelos.
- Los rayos que inciden pasando por el vértice de la lente no se desvían.

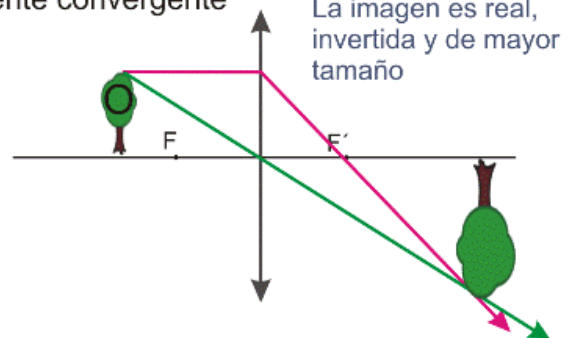
De acuerdo con esto, el dibujo siguiente presenta diferentes posibilidades de construcción de imágenes en lentes convergente y divergentes de un árbol (marcado con una O):

Formación de imágenes en lentes delgadas

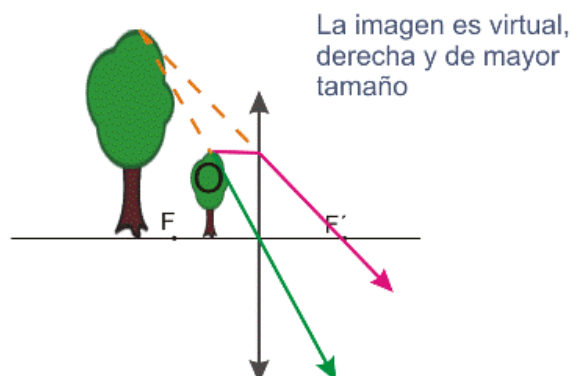
Lente convergente



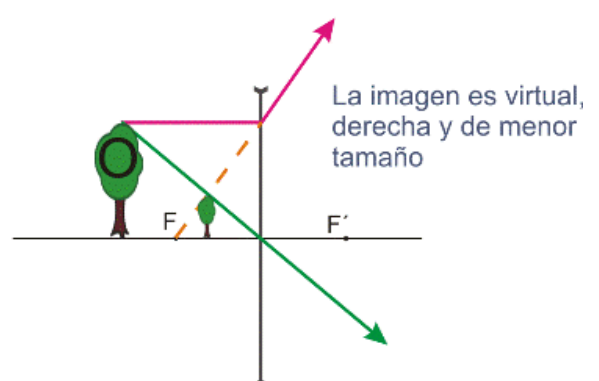
Lente convergente



Lente convergente



Lente divergente



2) De las ecuaciones vistas en el apartado anterior se obtiene fácilmente la ecuación de Gauss de las lentes delgadas:

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

Como curiosidad, al cociente $\frac{1}{f'}$ se le llama potencia de una lente, su unidad es la dioptría.

Finalmente, el cálculo del tamaño de la imagen puede hacerse a partir del aumento lateral, siendo posible alcanzar esta expresión:

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

7. Instrumentos ópticos

Prácticamente todo lo que has estudiado hasta ahora en este curso tiene sus aplicaciones. En el caso de la óptica esto es más que evidente y, como muestra, te dejamos tres botones.

LA LUPA

Llamada también microscopio simple, es de los sistemas ópticos más sencillos. Consiste en una lente convergente que permite ver los objetos de mayor tamaño que el real. El objeto se coloca entre el foco y la lente y la imagen se forma detrás del objeto, virtual y de mayor tamaño. A partir de ahí el cerebro la interpreta tal como vemos en la figura:

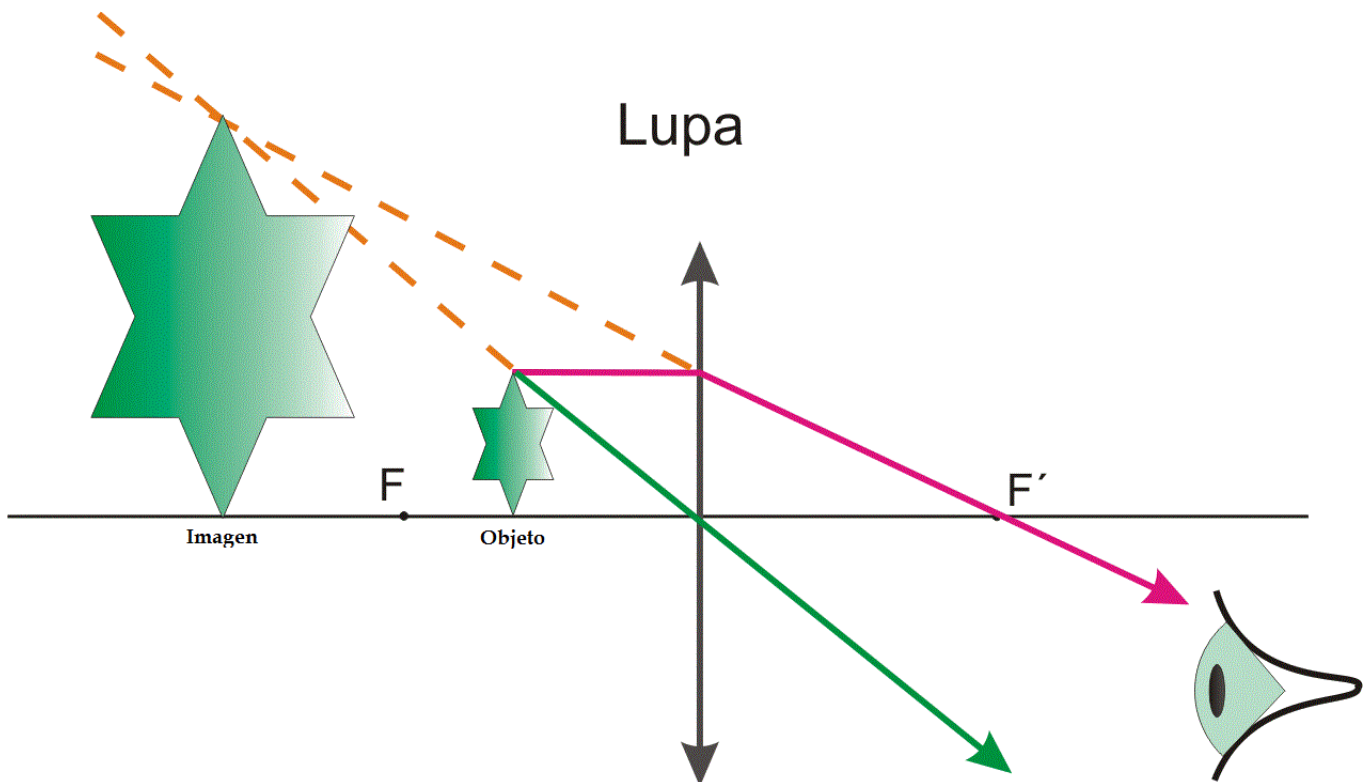
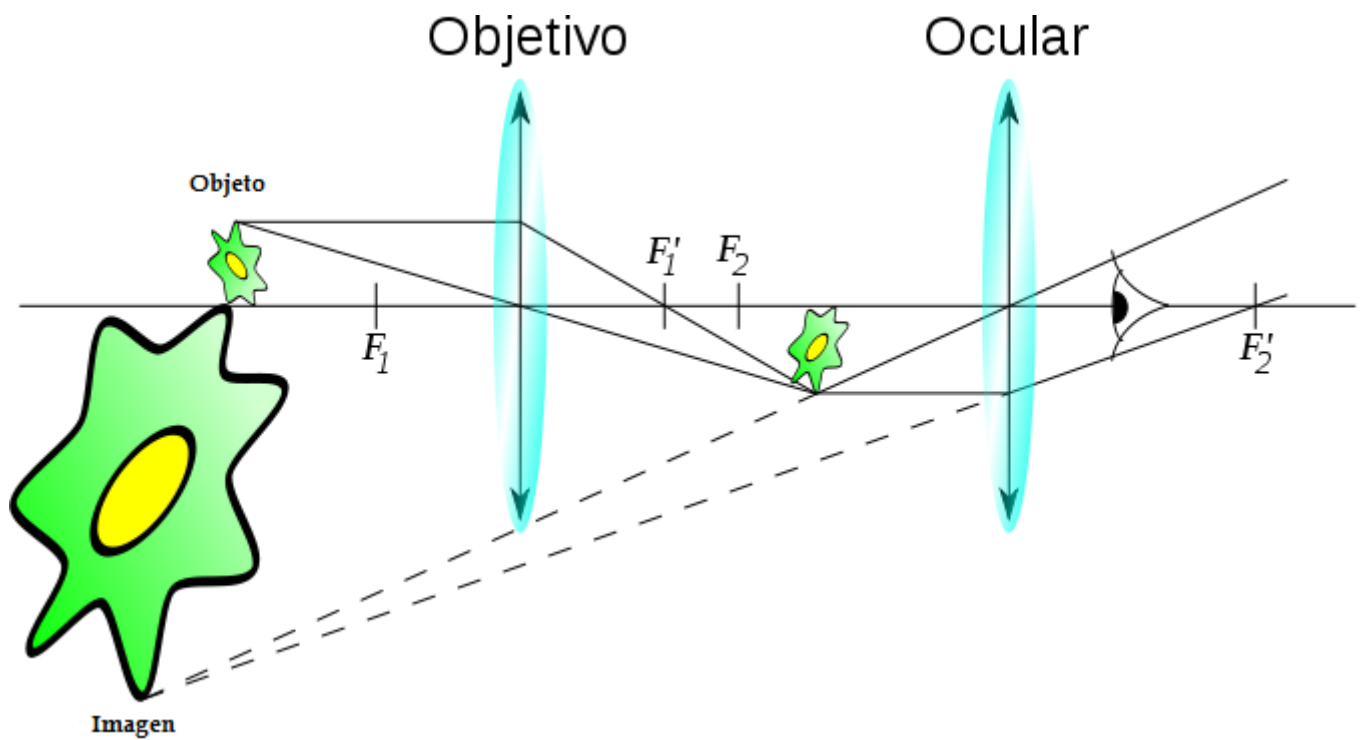


Imagen de [Juancarcole](#) en Wikimedia Commons. [CC](#)

EL MICROSCOPIO

Este es un sistema óptico formado por dos lentes convergentes llamadas objetivo y ocular. La luz que procede del objeto entra por el objetivo, formando una imagen real e invertida. Esta imagen sirve de objeto para el ocular, que actúa como una lupa formando una imagen virtual invertida y de mayor tamaño como la que se observa en la figura:



[Imagen](#) de Cmprince en Wikimedia Commons. [CC](#)

EL TELESCOPIO

Este sistema óptico se usa para visualizar objetos muy lejanos. Está formado por dos lentes convergentes llamadas objetivo y ocular, al igual que el microscopio. Mira el siguiente vídeo, de poco más de cuatro minutos, para entender su funcionamiento:

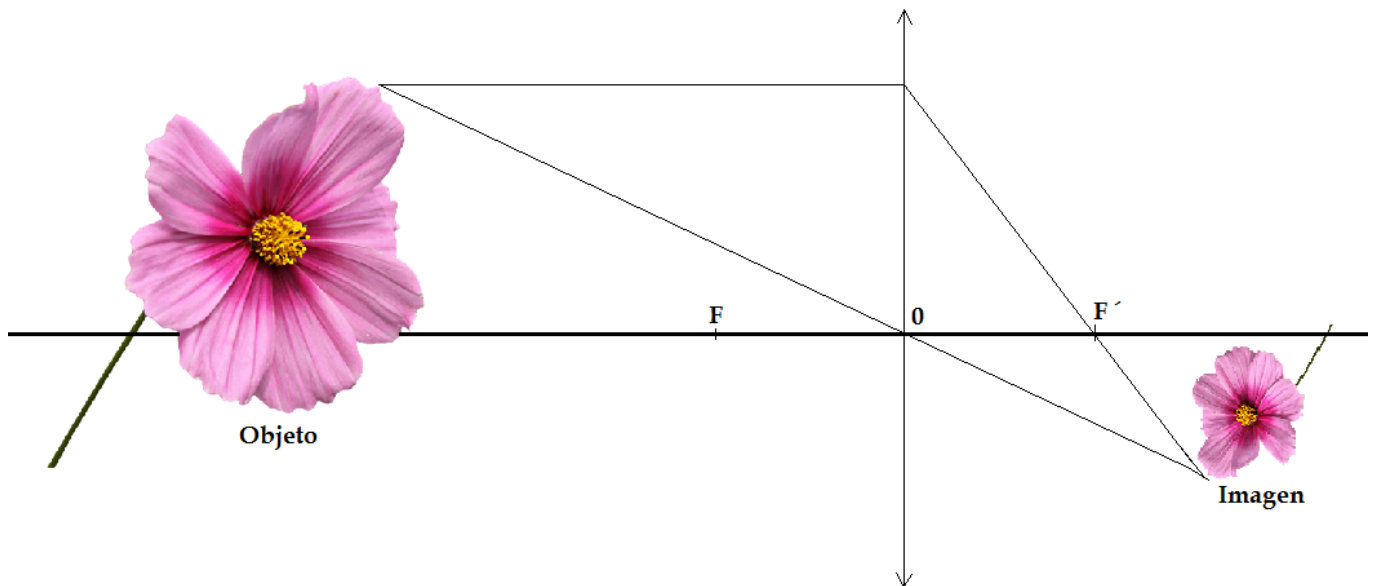


Vídeo de Educatina alojado en [Youtube](#)

LA CÁMARA FOTOGRÁFICA

Los elementos de la cámara fotográfica son:

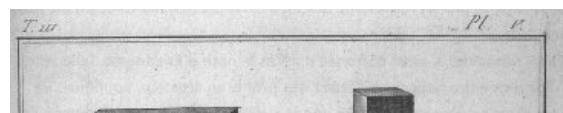
- **Objetivo:** es una lente convergente que permite la formación de una imagen real e invertida de menor tamaño, recogida en una placa de material fotosensible.
- **Obturador:** es un dispositivo que controla el tiempo de entrada de luz.
- **Diafragma:** con él se regula el diámetro del objetivo y, por ello, la cantidad de luz que penetra en la cámara.
- **Disparador:** abre el obturador para que entre la luz.

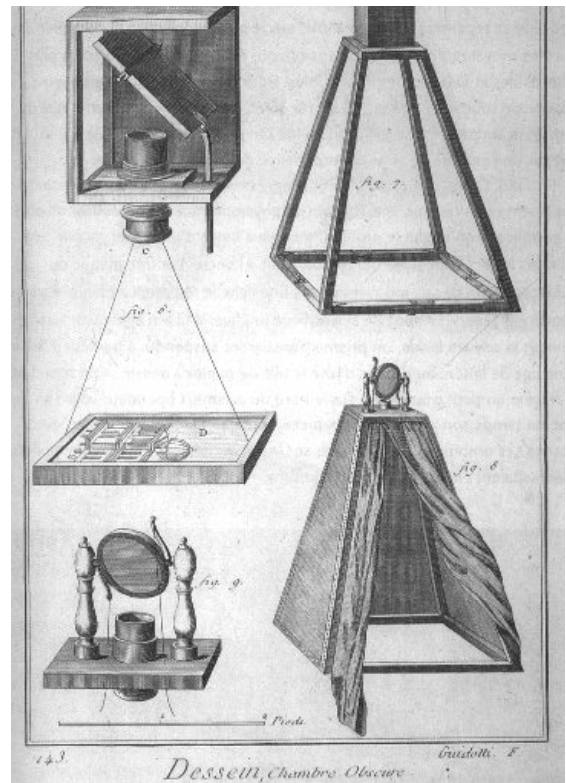


[Imagen](#) de CharoSaa en Wikimedia Commons. [CC](#)

Para saber más

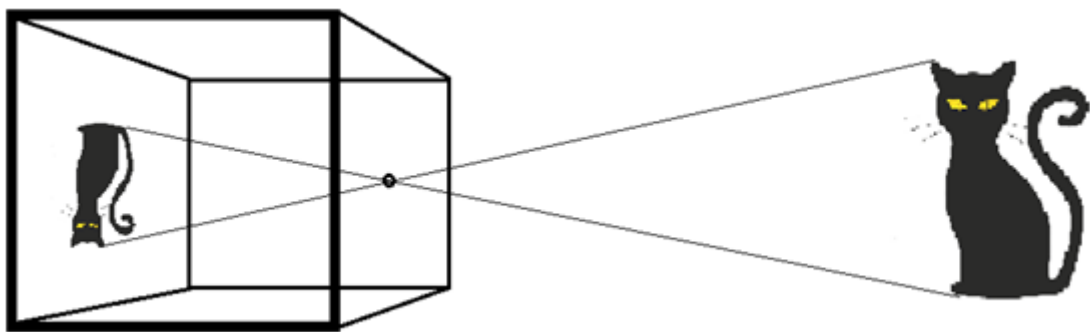
La llamada **cámara oscura** es el antepasado de la cámara de fotos. Existen escritos y grabados, como los de las imágenes siguientes, de varios siglos de antigüedad que describen su funcionamiento.





[Imagen](#) en Wikimedia Commons. [Dominio público](#) [Imagen](#) en Wikimedia Commons. [Dominio público](#)

Una cámara oscura consiste en una caja cerrada a la que se le realiza un pequeño orificio por el que entra la luz que refleja un objeto. Se forma así una imagen del objeto, de menor tamaño e invertida, proyectada en el interior de la caja.



[Imagen](#) de CharoSaa en Wikimedia Commons. [CC](#)



Curiosidad

¿Quieres fabricar tu propia cámara oscura? sigue las instrucciones de la siguiente animación. Podrás comprobar que

es sencillo y obtendrás resultados fascinantes.



Animación de charo saa alojada en [Youtube](#)

7.1 Ojo humano

De todos los sistemas ópticos a estudiar, el que más nos interesa es el ojo.

La siguiente imagen muestra la estructura anatómica básica del ojo (pincha sobre la imagen para ampliar)

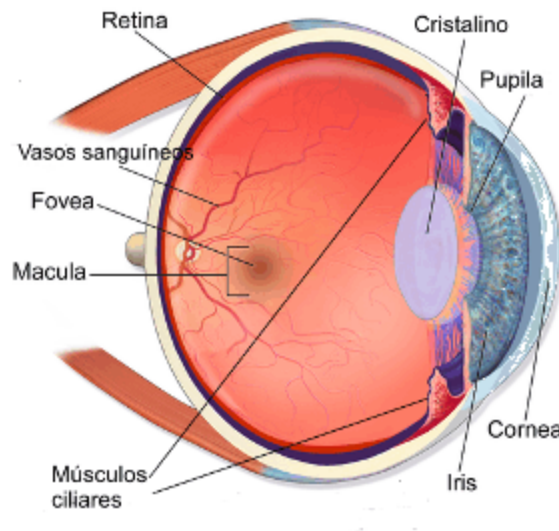


Imagen (adaptada) de [BruceBlaus](#) en Wikimedia. [CC](#)

El mecanismo de la visión es altamente complejo pero, *grosso modo*, puede simplificarse identificando al ojo como un sistema óptico cuya función la formación de imágenes de los objetos en la **retina**, que actúa de pantalla.

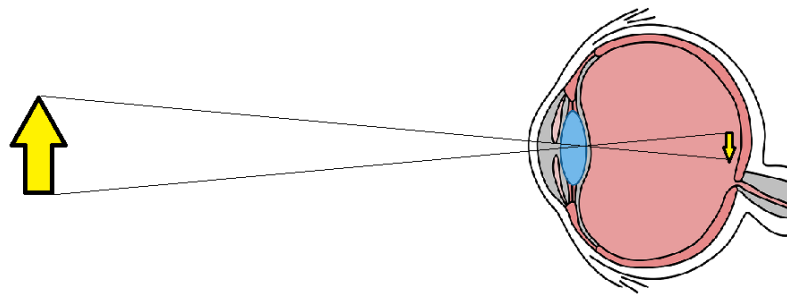


Imagen de elaboración propia

Desde ese punto de vista, el ojo está formado por un dioptrio esférico, la córnea y el **cristalino**, una lente convergente capaz de modificar su curvatura, gracias a la contracción de los músculos ciliares, y adaptar así la visión del ojo a distintas distancias. Esta propiedad del ojo se llama **acomodación**.

Defectos de la visión

Como es lógico, no todos los ojos enfocan de la misma manera. A menudo el enfoque no se hace correctamente en la retina y se producen defectos en la visión.

Los más frecuentes son la miopía e hipermetropía.

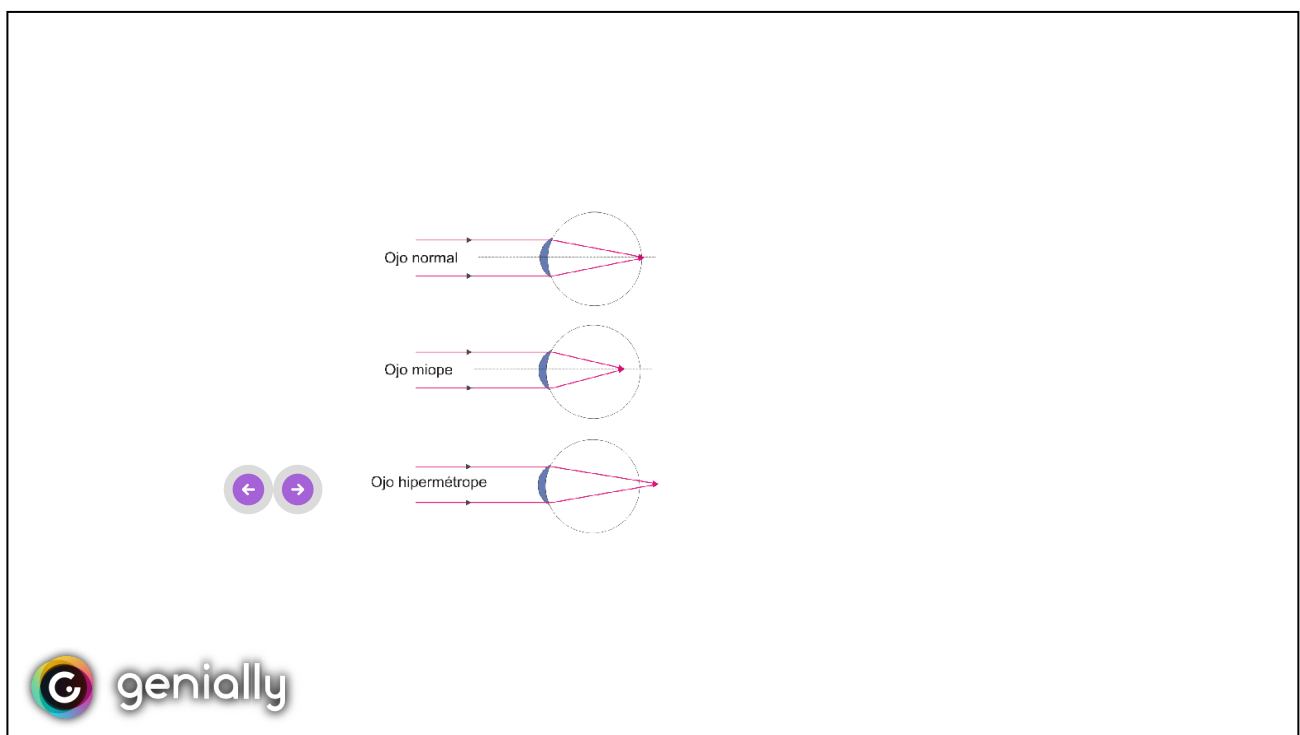
● Miopía

El ojo miope enfoca en la retina correctamente los objetos cercanos. Este defecto sin embargo, afecta a la visión lejana ya que la imagen formada de los objetos alejados se forma delante de la retina. Se corrige con lentes divergentes. La imagen se verá de menor tamaño.

● Hipermetropía

Es lo opuesto a la miopía. El ojo hipermetrope forma la imagen detrás de la retina. Se corrige con lentes convergentes. La imagen se verá aumentada.

La siguiente secuencia de imágenes te ayudará a comprender esto



Secuencia creada a partir de imágenes en Wikimedia de Juancarcole ([1](#) y [2](#)) bajo licencia [CC](#)

Como puedes ver en la animación, el uso de las lentes hace que la imagen se forme sobre la retina, ni delante ni detrás, corrigiéndose así la visión de los objetos.

● Presbicia

Este defecto de la visión, conocido también como vista cansada, suele aparecer con los años. Es debida a la pérdida de flexibilidad del cristalino, limitando por ello la acomodación del ojo. Se dificulta así la visión de objetos cercanos. Al igual que la hipermetropía, se corrige con lentes convergentes.

● Astigmatismo

Este es un defecto muy habitual, se debe a una deformidad en la córnea que hace que esta presente una curvatura distinta, afectándose tanto la visión cercana como lejana. Se corrige también con el uso de lentes, en este caso cilíndricas (no esféricas).

Mapa conceptual

[Mapa conceptual](#) (pdf - 47.73 KB) .



Fuentes para el profesorado

Descargar [CMAP](#)

Importante

Sistema óptico: Es un conjunto de superficies que separan medios transparentes, homogéneos e isotrópicos de diferente índice de refracción. En la práctica un sistema óptico es un conjunto de una o más lentes y/o espejos.

Objeto e imagen: Imagina que de un punto O parten los rayos luminosos (porque emite o porque refleja la luz). Si, después de pasar los rayos que parten de O por el sistema óptico, se vuelven a juntar al otro lado en un punto O', a este punto (O') se le llama **imagen** de O, y al punto O se le llama **objeto**.

- Llamaremos **foco imagen (F')** al punto en el cual convergen los rayos que inciden paralelos al sistema óptico. La distancia entre el vértice y este punto se llama **distancia focal imagen (f')**.
- Se llama **foco objeto (F)** al punto del espacio objeto que cumple que los rayos que proceden de él emergen paralelos después de pasar por el dioptrio. La distancia entre este punto y el vértice O se llama **distancia focal objeto (f)**.

Importante

Un dioptrio esférico es una superficie esférica que separa dos medios de índice de refracción diferente. Un ejemplo de esto es una gota de agua.

La **ecuación fundamental del dioptrio esférico es**

$$-\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{r}$$

Esta ecuación permite averiguar dónde se encuentra la imagen (s') conociendo las características del dioptrio (es decir, su radio r y los medios que separa n y n') y la distancia al objeto (s).

Importante

Un dioptrio plano es cualquier superficie que separa dos medios diferentes. Un ejemplo muy simple es la superficie del agua.

Matemáticamente, se puede tratar un dioptrio plano como si fuera un dioptrio esférico de radio de curvatura infinito. De esta forma, la **ecuación del dioptrio plano** se obtiene haciendo $r \rightarrow \infty$ en la ecuación fundamental del dioptrio esférico:

$$-\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{\infty} \rightarrow -\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = 0 \rightarrow s' = \frac{n'}{n}s$$

De la expresión anterior puedes deducir fácilmente que, si $n' < n$, resulta $s' < s$. Es decir que si la luz viaja, por ejemplo, desde el agua (n) hasta el aire (n'), la imagen se forma más cerca de la superficie que el objeto.

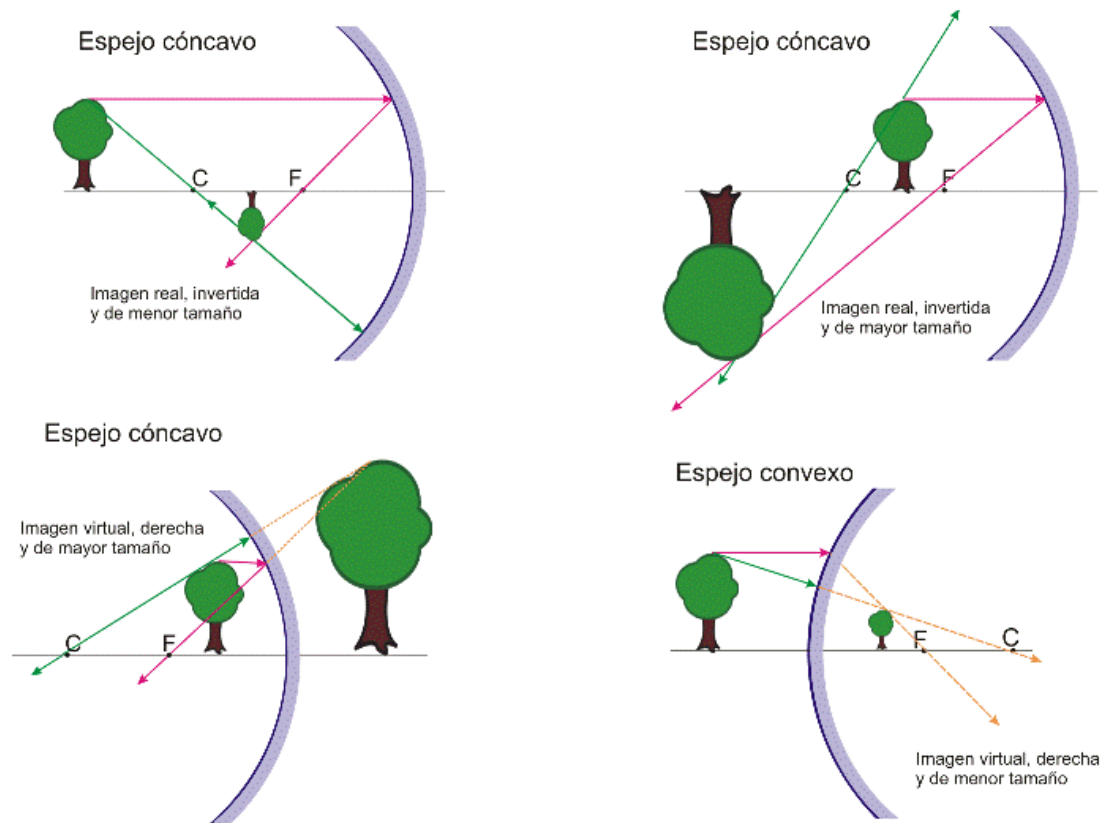
Importante

Espejos curvos:

Trazamos dos rayos de los cuales se conoce cómo van a salir después de pasar por el espejo:

- El primero paralelo al eje óptico, este sale dirigido hacia el foco.
- El segundo dirigido hacia el centro. Este se refleja en la misma dirección y sentido contrario ya que incide perpendicular al espejo

Formación de imágenes en espejos esféricos



Podemos calcular la posición de la imagen a partir de la ecuación general del dioptrio plano suponiendo que la reflexión es un caso particular de la refracción en la que $n' = -n$ y tenemos en cuenta que en un espejo $f = f' = r/2$ resulta:

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

Importante

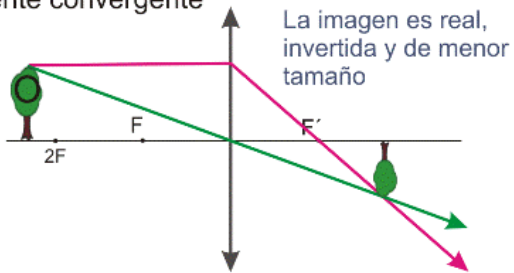
Una lente es cualquier elemento transparente, homogéneo e isótropo, limitado por dos superficies de las cuales, al menos, una es curva. Su función es hacer que la luz converja o diverja, según interese y, aunque hay lentes de muchos tipos, todas ellas basan su funcionamiento en las leyes de la refracción.

La construcción geométrica de imágenes en una lente delgada se hace básicamente igual que en un espejo. Se trata de trazar un conjunto de rayos de los cuales sabemos cómo se comportan después de pasar por la lente. Deberás trazar siempre, al menos, dos de los siguientes rayos, llamados rayos principales:

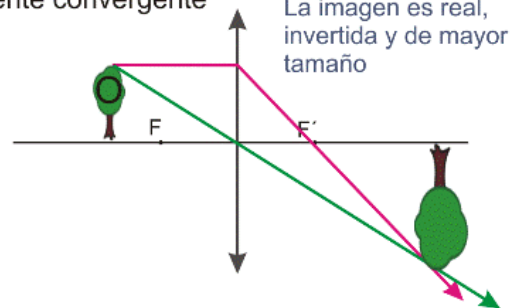
- Los rayos que inciden paralelos emergen pasando por el foco.
- Los rayos que inciden pasando por el foco emergen paralelos.
- Los rayos que inciden pasando por el vértice de la lente no se desvían.

Formación de imágenes en lentes delgadas

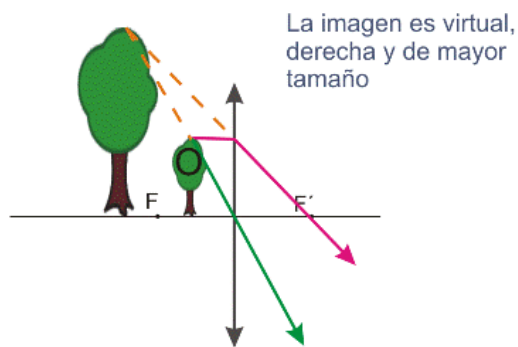
Lente convergente



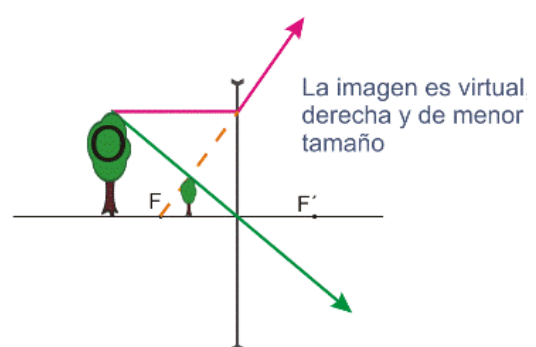
Lente convergente



Lente convergente



Lente divergente



Y se cumple la ecuación de Gauss de las lentes delgadas:

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



Ejercicios resueltos



[Imagen](#) de tookapic en Pixabay. [Licencia](#)

Ejercicio 1

Ejercicio resuelto

Un objeto se encuentra frente a un espejo plano a una distancia de 4 m del mismo.

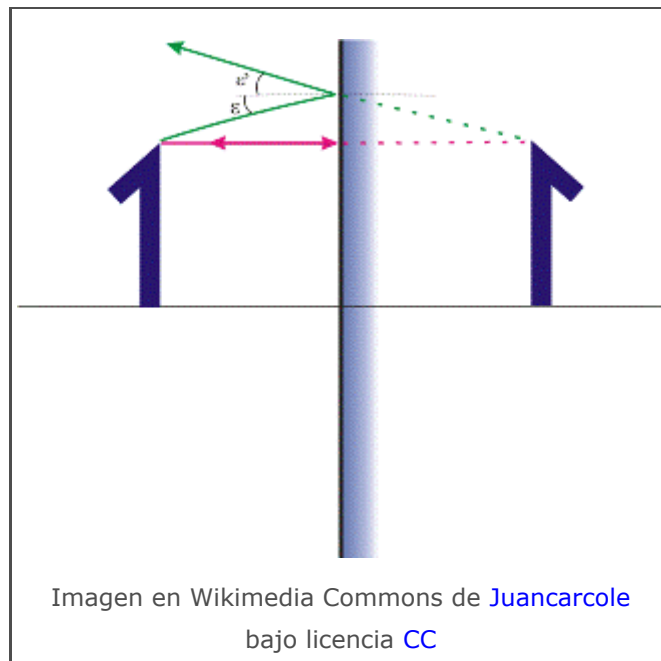
Construya gráficamente la imagen y explique sus características.

Mostrar retroalimentación

La imagen se construye trazando dos rayos:

- Uno que incide con un ángulo ε y que se refleja formando un ángulo $\varepsilon' = \varepsilon$.
- Otro que incide perpendicular al espejo y que vuelve en la misma dirección y sentido contrario.

Como los dos rayos reflejados son divergentes, la imagen del punto considerado es la intersección de las prolongaciones de los rayos reflejados. El resultado lo puedes ver en la figura, se trata de una imagen virtual, derecha y de igual tamaño.



En cuanto a la posición de la imagen, de la ecuación fundamental del espejo plano, resulta:

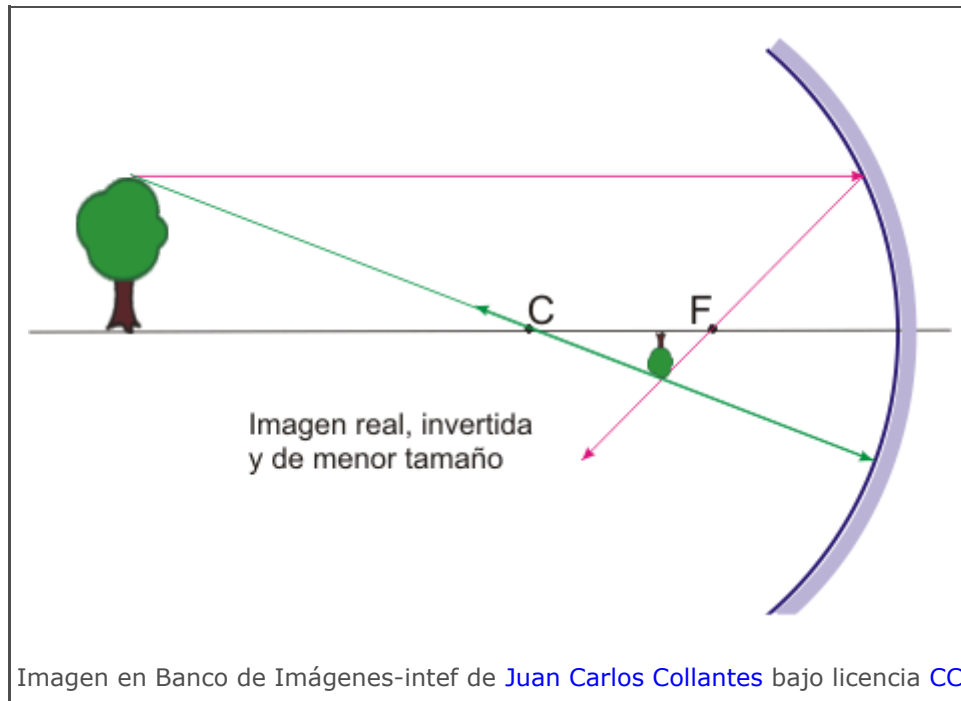
$$s' = -s = -(-4) \text{ m} = 4 \text{ m}$$

recuerda que la distancia del objeto al espejo es negativa (está a la izquierda del espejo)

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

Mostrar retroalimentación

La imagen siguiente representa la marcha de rayos para el espejo cóncavo:



La posición de la imagen se obtiene de la ecuación:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{r} \rightarrow \frac{1}{-4} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{-2} \rightarrow s' = -\frac{4}{3}m$$

Ejercicio 2

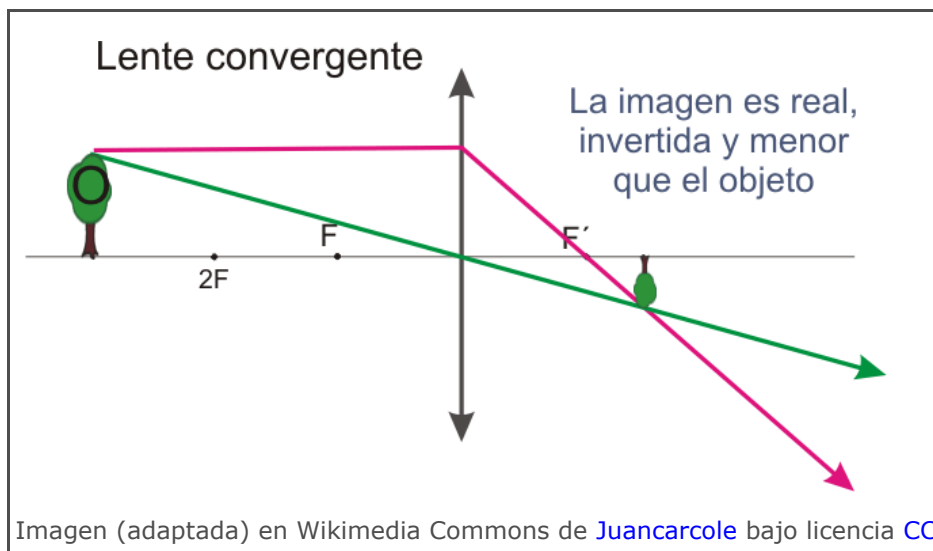
Ejercicio resuelto

Un objeto se encuentra a una distancia de 0,6 m de una lente delgada convergente de 0,2 m de distancia focal.

Construya gráficamente la imagen que se forma y explique sus características.

Mostrar retroalimentación

La marcha de rayos y las características de la imagen las puedes observar en el siguiente gráfico:



Para calcular la posición exacta de la lente, aplicamos la ecuación de las lentes delgadas:

$$-\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f'} \rightarrow -\frac{1}{0.6} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{0.2} \rightarrow s' = 0.3 \text{ m}$$

Repita el apartado anterior si el objeto se coloca a 0,1 de la lente

Mostrar retroalimentación

La marcha de rayos ahora es la siguiente:

Lente convergente



La imagen es virtual,

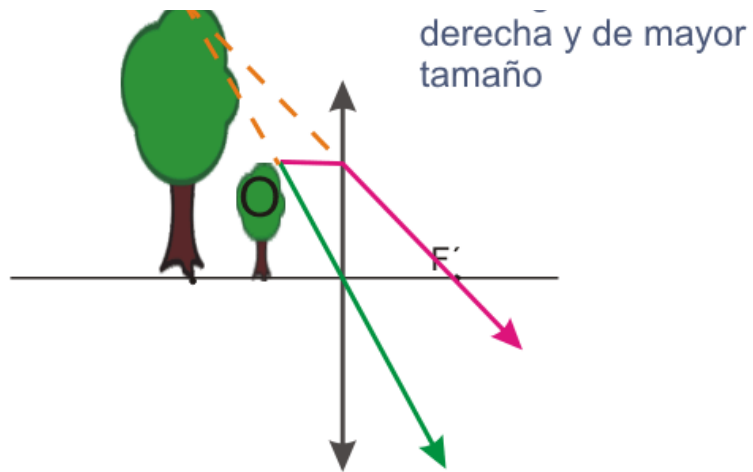


Imagen (adaptada) en Wikimedia Commons de [Juancarcole](#) bajo licencia [CC](#)

Y la posición de la imagen:

$$-\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f'} \rightarrow -\frac{1}{-0.1} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{0.2} \rightarrow s' = -0.2 \text{ m}$$

Ejercicio 3

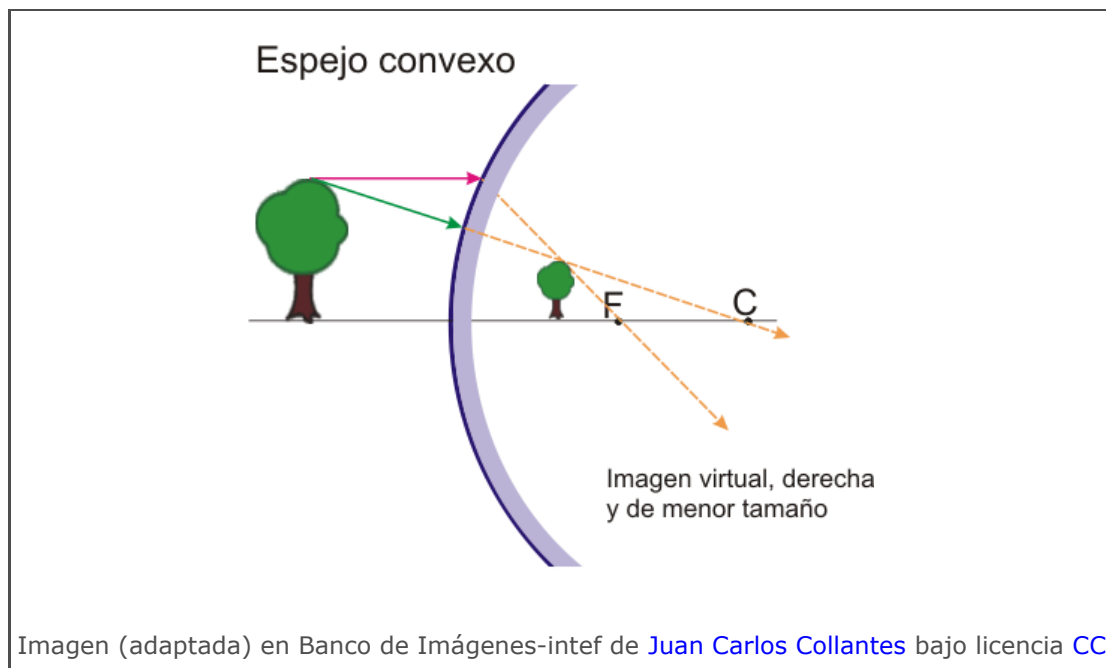
Ejercicio resuelto

Es corriente utilizar espejos convexos como retrovisores en coches y camiones o en vigilancia de almacenes, con objeto de proporcionar mayor ángulo de visión con un espejo de tamaño razonable.

Explique con ayuda de un esquema las características de la imagen formada en este tipo de espejos.

Mostrar retroalimentación

Fíjate en el esquema de rayos de un objeto frente a un espejo convexo:



Como puedes observar, la imagen siempre es virtual, derecha y más pequeña.

En estos espejos se suele indicar: "Atención, los objetos están más cerca de lo que parece". ¿Por qué parecen estar más alejados?

Mostrar retroalimentación

El hecho de que la imagen sea más pequeña puede confundir al observador si asocia la disminución de tamaño con un mayor alejamiento.

Ejercicio 4

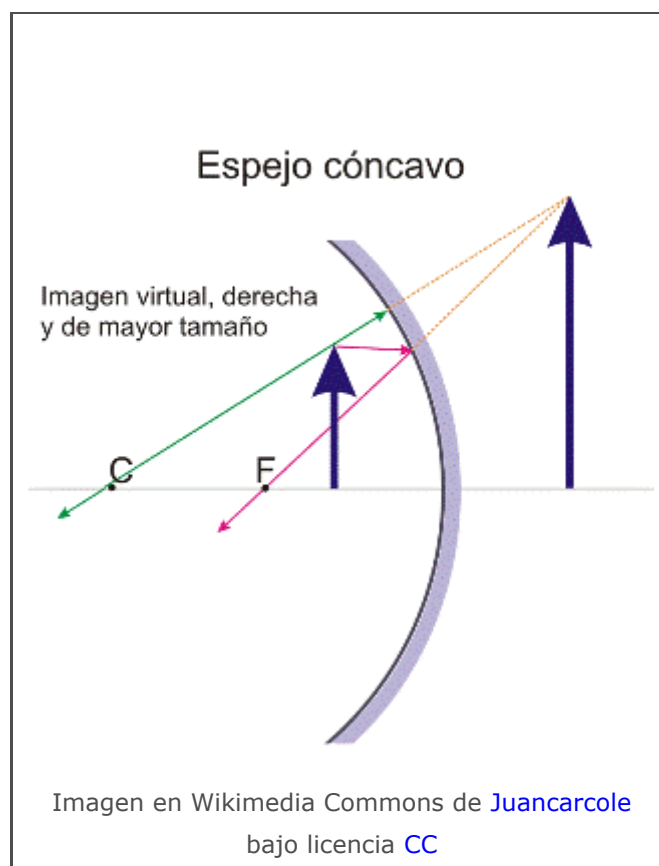
Ejercicio resuelto

Si queremos ver una imagen ampliada de un objeto, ¿qué tipo de espejo tenemos que utilizar? Explique, con ayuda de un esquema, las características de la imagen formada.

Mostrar retroalimentación

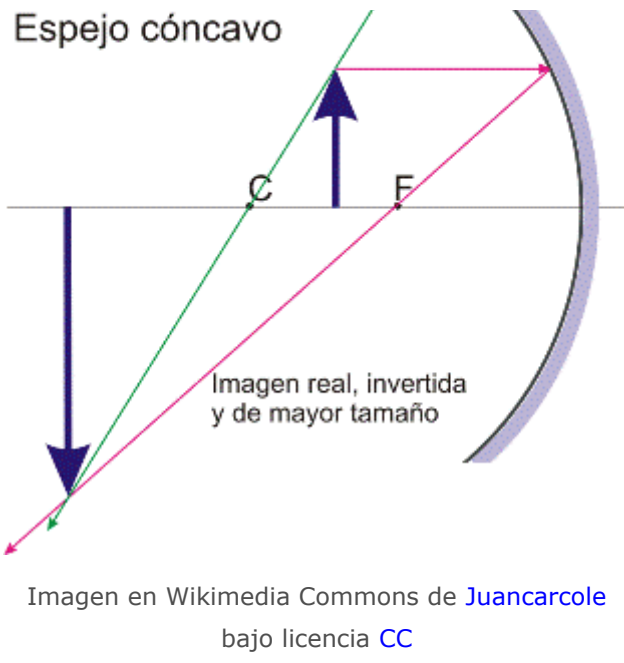
El único espejo que permite obtener una imagen más grande que el objeto es el espejo cóncavo. En función de la posición que ocupe el objeto, su imagen será derecha o invertida y real o virtual.

Si lo que queremos es ver la imagen ampliada es necesario que esta sea virtual, luego la posición del objeto debe estar entre el foco y el espejo.



También podemos obtener una imagen de mayor tamaño si el objeto lo situamos entre el centro y el vértice del espejo. En este caso la imagen es real y puede obtenerse sobre una pantalla.





Imprimible

Descargar imprimible

Aviso Legal

Aviso Legal

El presente texto (en adelante, el "**Aviso Legal**") regula el acceso y el uso de los contenidos desde los que se enlaza. La utilización de estos contenidos atribuye la condición de usuario del mismo (en adelante, el "**Usuario**") e implica la aceptación plena y sin reservas de todas y cada una de las disposiciones incluidas en este Aviso Legal publicado en el momento de acceso al sitio web. Tal y como se explica más adelante, la autoría de estos materiales corresponde a un trabajo de la **Comunidad Autónoma Andaluza, Consejería de Educación y Deporte (en adelante Consejería de Educación y Deporte)**.

Con el fin de mejorar las prestaciones de los contenidos ofrecidos, la Consejería de Educación y Deporte se reserva el derecho, en cualquier momento, de forma

