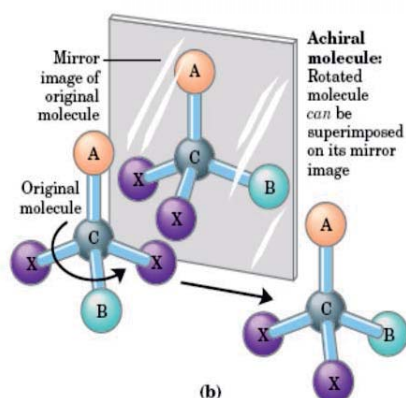


Tema 09

Óptica geométrica



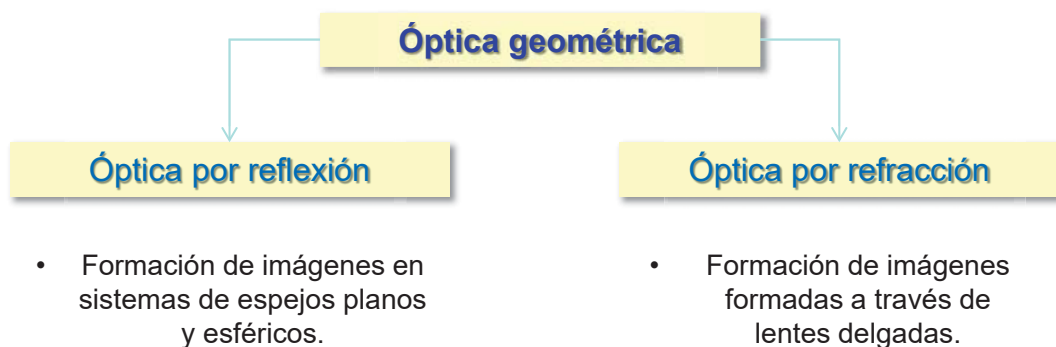
IES Padre Manjón
Prof: Eduardo Eisman

09. Óptica geométrica: Índice

CONTENIDOS	
1. Introducción a la óptica geométrica · 2. Óptica de la reflexión. Espejos planos y esféricos · 3. Óptica de la refracción. Lentes delgadas · 4. El ojo humano · 5. Algunos instrumentos ópticos.	
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE
1. Formular e interpretar las leyes de la óptica geométrica.	1.1. Explica procesos cotidianos a través de las leyes de la óptica geométrica.
2. Valorar los diagramas de rayos luminosos y las ecuaciones asociadas como medio que permite predecir las características de las imágenes formadas en sistemas ópticos.	2.1. Demuestra experimental y gráficamente la propagación rectilínea de la luz mediante un juego de prismas que conduzcan un haz de luz desde el emisor hasta una pantalla. 2.2. Obtiene el tamaño, posición y naturaleza de la imagen de un objeto producida por un espejo plano y una lente delgada realizando el trazado de rayos y aplicando las ecuaciones.
3. Conocer el funcionamiento óptico del ojo humano y sus defectos y comprender el efecto de las lentes en la corrección de dichos efectos.	3.1. Justifica los principales defectos ópticos del ojo humano: miopía, hipermetropía, presbicia y astigmatismo, mediante un diagrama de rayos.
4. Aplicar las leyes de las lentes delgadas y espejos planos al estudio de los instrumentos ópticos.	4.1. Establece el tipo y disposición de los elementos empleados en los instrumentos ópticos: lupa, microscopio, telescopio y cámara fotográfica, realizando el trazado de rayos. 4.2. Analiza las aplicaciones de la lupa, microscopio, telescopio y cámara fotográfica.

1.1 Óptica geométrica

- **La Óptica geométrica** estudia la formación de imágenes por reflexión y refracción.

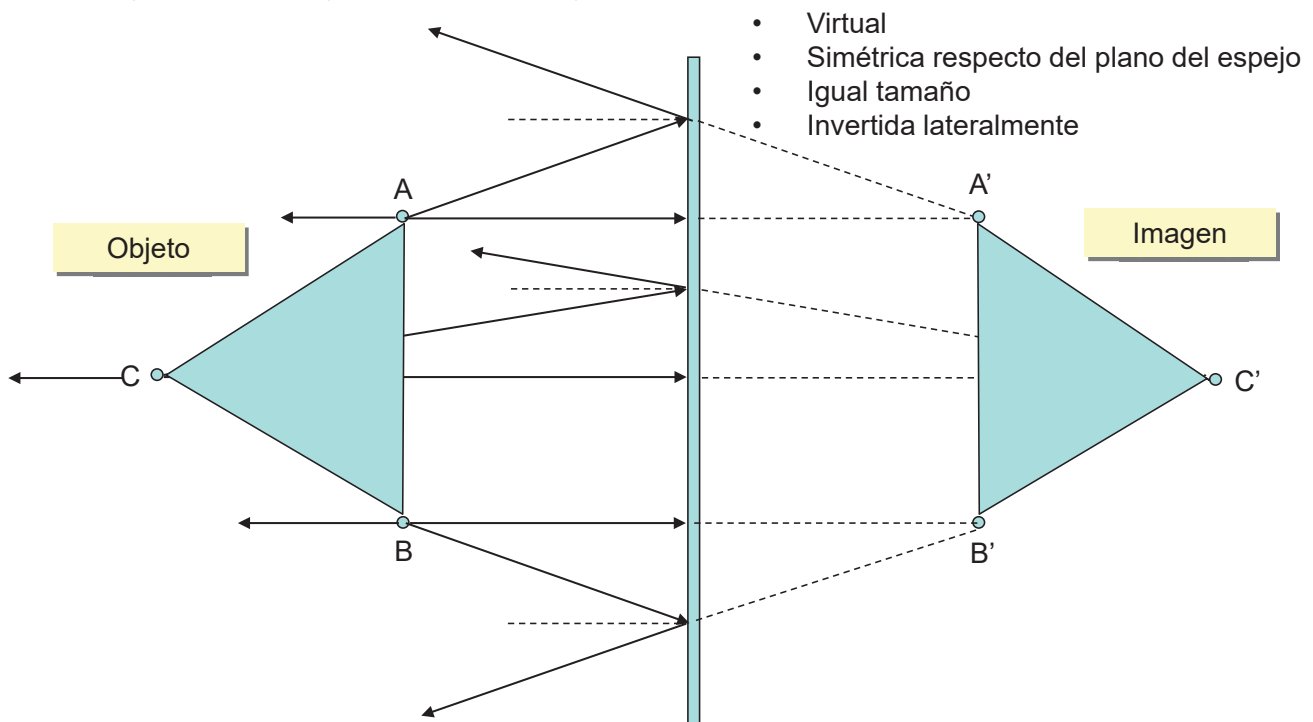


- **Las leyes sobre las que se estructura la óptica geométrica son:**

- **Ley de propagación rectilínea de la luz.**
- **Ley de independencia de los rayos luminosos.** Cada rayo es independiente de los otros.
- **Ley de la reflexión y la refracción.**
- **Ley de reciprocidad.** El camino del rayo desde el punto A al punto B es reversible.
- **Aproximación del rayo** El rayo es una construcción matemática que solo representa la dirección de propagación del flujo de energía radiante, de modo que el rayo es perpendicular a cada punto del frente de onda.

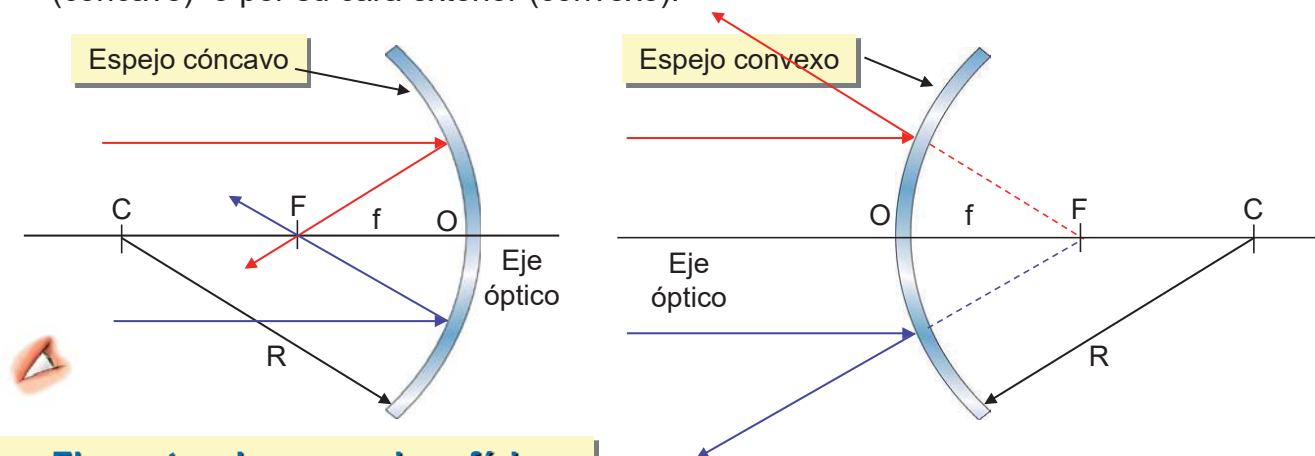
2.1 Óptica de la reflexión: espejos planos

- **Un espejo plano** es una superficie lisa, plana, pulida, con elevado poder de reflexión.
- El objeto ABC tiene su imagen en A'B'C', que se construye a partir de las leyes de reflexión, por intersección de las prolongaciones de los rayos, que partiendo del objeto, son reflejados por el espejo.



2.2 Óptica de la reflexión: espejos esféricos

- **Un espejo esférico** es una superficie lisa, pulimentada por su cara interior (cóncavo) o por su cara exterior (convexo).

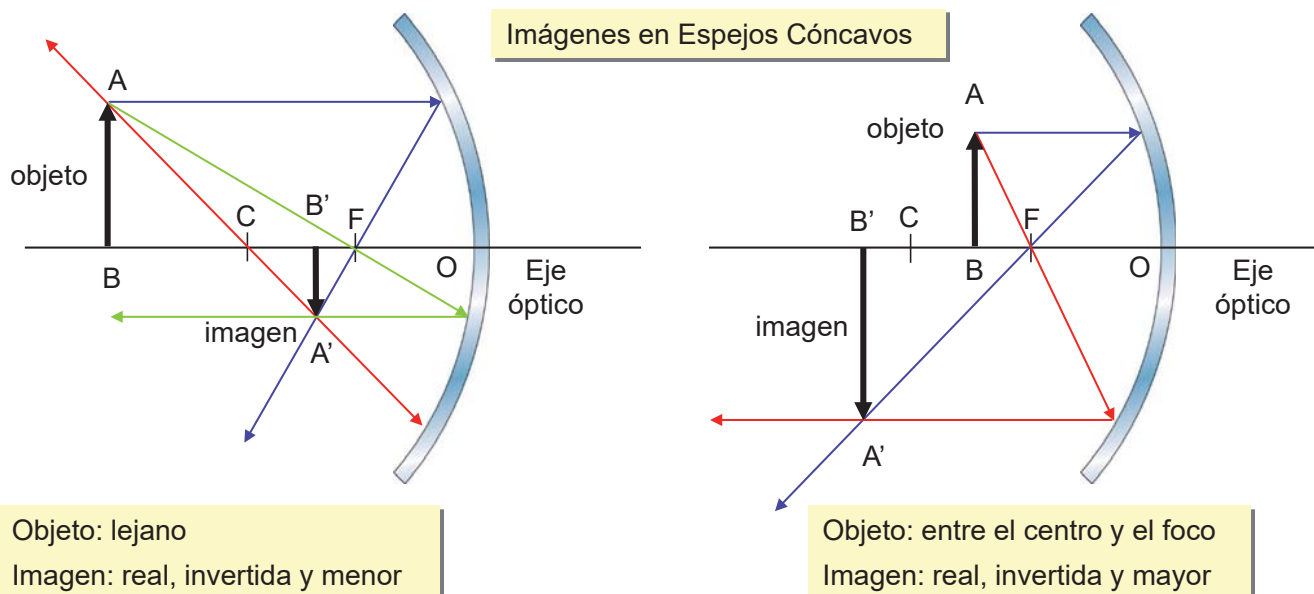


• Elementos de un espejo esférico:

- **Centro C y radio de curvatura, R:** centro y radio de la esfera a la que pertenece el espejo.
- **Centro del espejo, O:** centro de la superficie del espejo.
- **Eje principal o eje óptico:** recta que pasa por el centro de curvatura y el centro del espejo.
- **Foco:** punto del E.O. por donde pasan los rayos que llegan al espejo paralelos y próximos a dicho eje (rayos paraxiales).
- **Distancia focal, f:** distancia entre el foco y el centro del espejo. La distancia focal de un espejo esférico es igual a la mitad del radio de curvatura ($f = R/2$).

2.3 Espejos esféricos: construcción de imágenes

- La construcción gráfica de las imágenes se realiza dibujando al menos dos rayos de trayectorias conocidas y hallando su intersección tras reflejarse en el espejo.
- **Todo rayo que llega al espejo paralelo al eje principal**, al reflejarse, se desvía pasando por el foco si el espejo es cóncavo, o parece provenir del foco si el espejo es convexo.
- **Todo rayo que pasa por el foco** de un espejo cóncavo, o se dirige al foco de un espejo convexo, se refleja paralelamente al eje óptico.
- **Todo rayo que incide perpendicular al espejo**, se refleja sin desviarse.



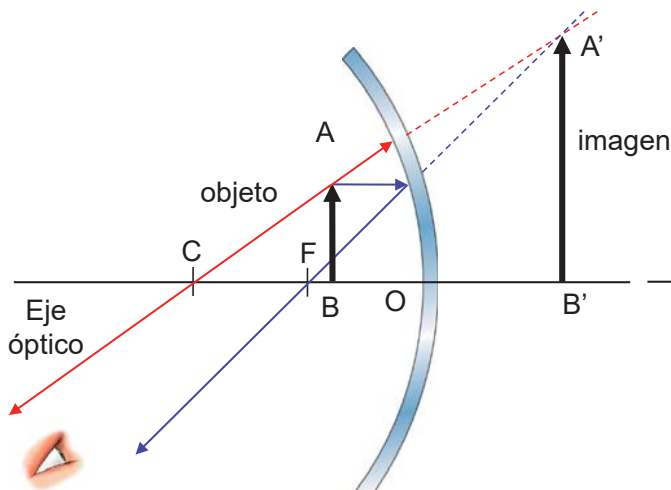
Objeto: lejano
Imagen: real, invertida y menor

Objeto: entre el centro y el foco
Imagen: real, invertida y mayor

2.4 Espejos esféricos: construcción de imágenes

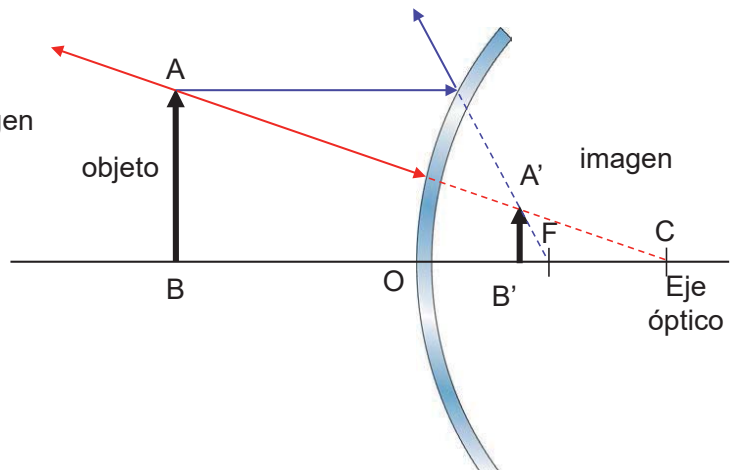
- La construcción gráfica de las imágenes se realiza dibujando al menos dos rayos de trayectorias conocidas y hallando su intersección tras reflejarse en el espejo.
- **Todo rayo que llega al espejo paralelo al eje principal**, al reflejarse, se desvía pasando por el foco si el espejo es cóncavo, o parece provenir del foco si el espejo es convexo.
- **Todo rayo que incide perpendicular al espejo**, se refleja sin desviarse.

Imágenes en Espejos Cóncavos



Objeto: entre el foco y el espejo
Imagen: virtual, derecha y mayor

Imágenes en Espejos Convexos



Objeto: en cualquier posición
Imagen: virtual, derecha y menor

3.1 Óptica de la refracción. Lentes delgadas

- **Una lente es un medio transparente, homogéneo e isótropo limitado por dos superficies curvas o por una plana y otra curva.**
- Cuando la luz atraviesa una lente se desvía debido a un fenómeno de refracción.
- Si el grosor de la lente es despreciable en comparación con los radios de curvatura de las caras que la forman, recibe el nombre de **lente delgada**.

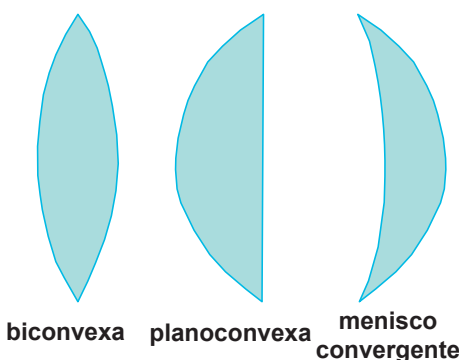
Lentes delgadas

- **Convergentes o convexas:**

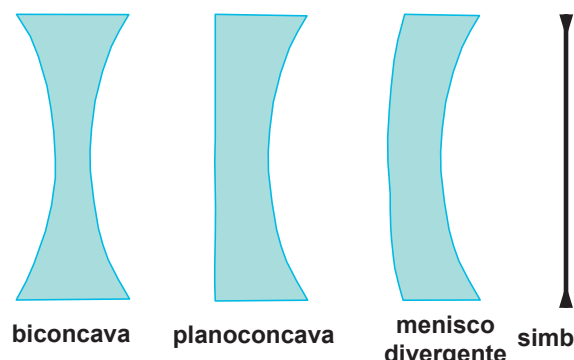
Más gruesas por el centro que por los extremos.
Se denominan positivas.
Hacen converger los rayos que las atraviesan.

- **Divergentes o cóncavas:**

Más finas por el centro que por los extremos.
Se denominan negativas.
Hacen diverger las rayos que las atraviesan.



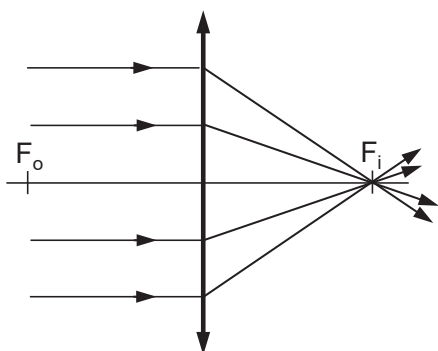
biconvexa planoconvexa menisco convergente símbolo



biconcava planoconcava menisco divergente símbolo

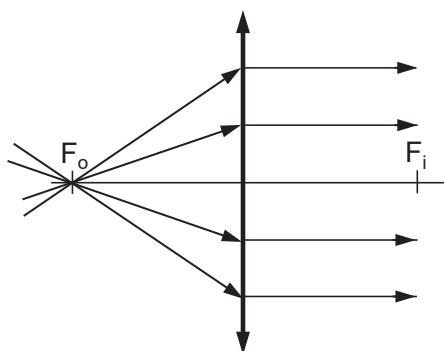
3.2 Lentes delgadas convergentes

• Marcha de rayos en una lente convergente



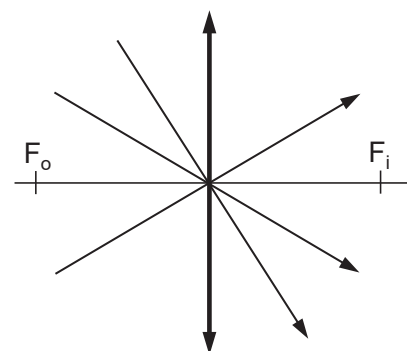
Foco Imagen

Los rayos que inciden en la lente paralelos al eje óptico y próximos a él, **rayos paraxiales**, se cortan en el **foco imagen**.



Foco Objeto

Los rayos que emergen de la lente paralelos al eje óptico, se cortan en el **foco objeto**.

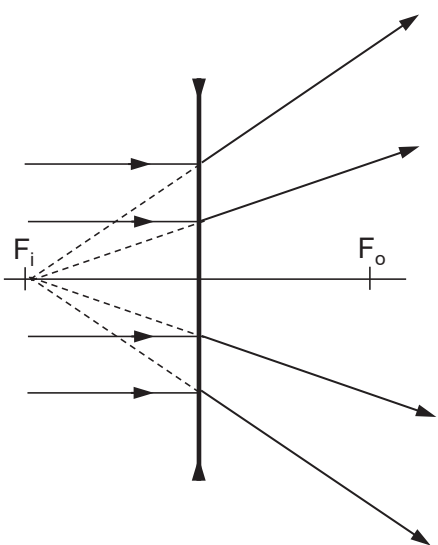


Centro Óptico

Los rayos que pasan por el **centro óptico** de la lente, no se desvían.

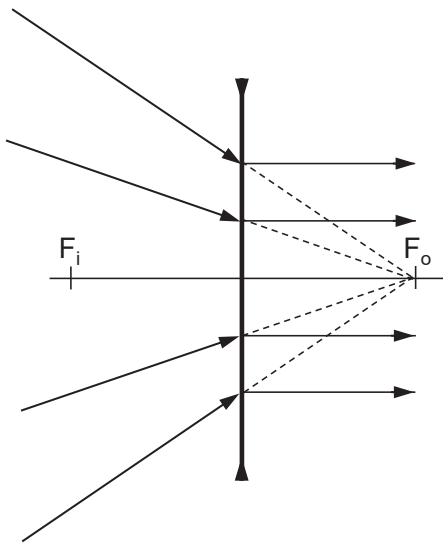
3.3 Lentes delgadas divergentes

• Marcha de rayos en una lente divergente



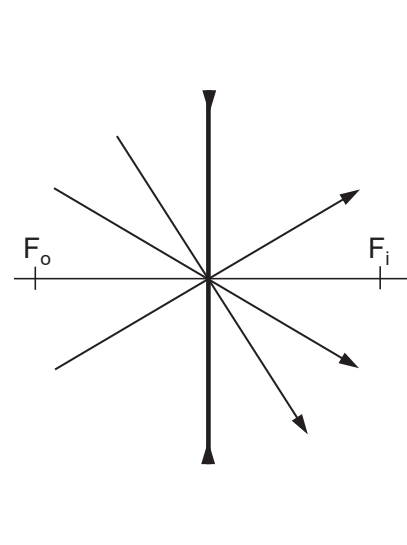
Foco Imagen

Los rayos que inciden en la lente paralelos al eje óptico y próximos a él, **rayos paraxiales**, sus prolongaciones se cortan en el **foco imagen**.



Foco Objeto

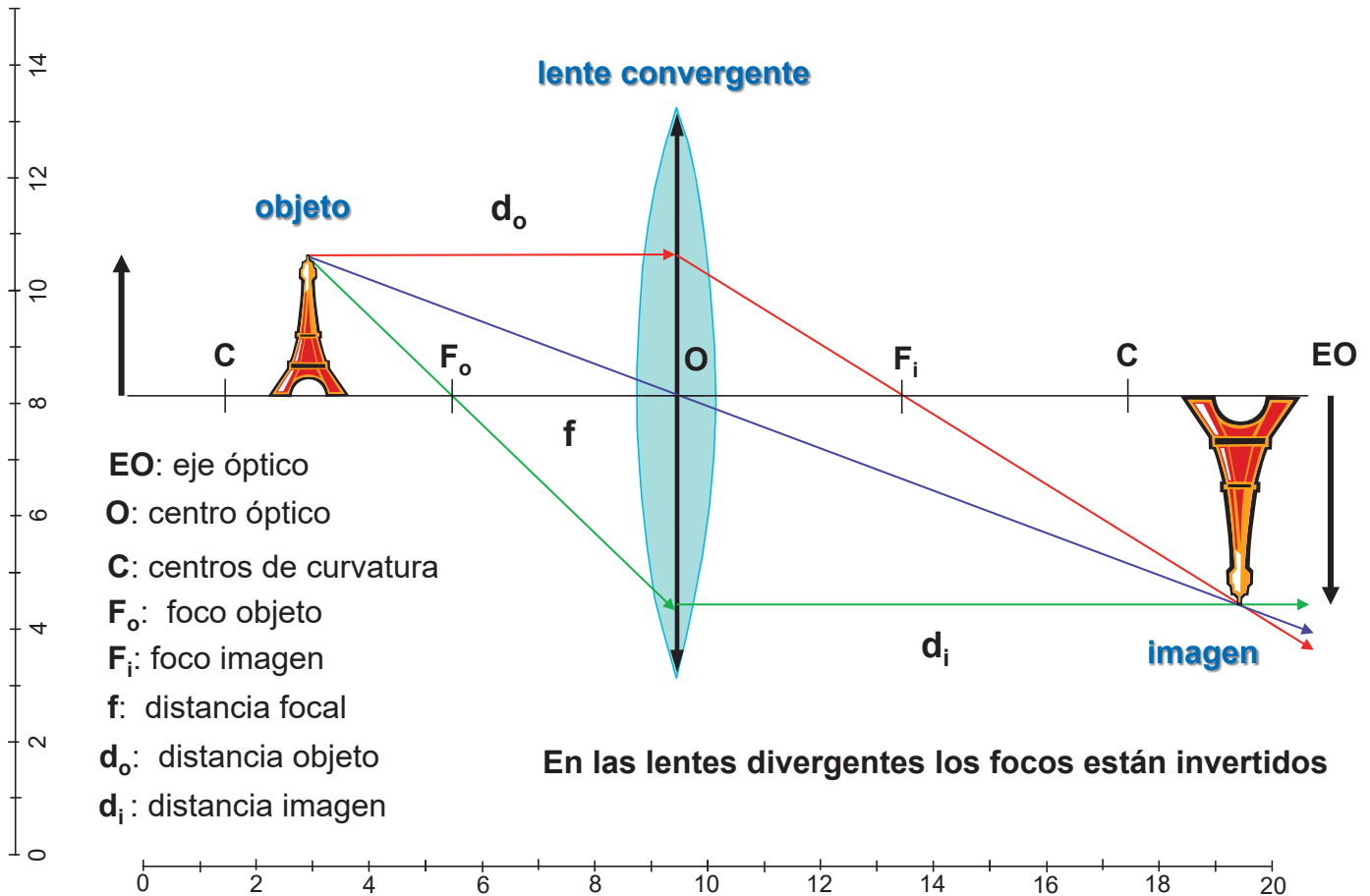
Los rayos que emergen de la lente paralelos al eje óptico, sus prolongaciones, se cortan en el **foco objeto**.



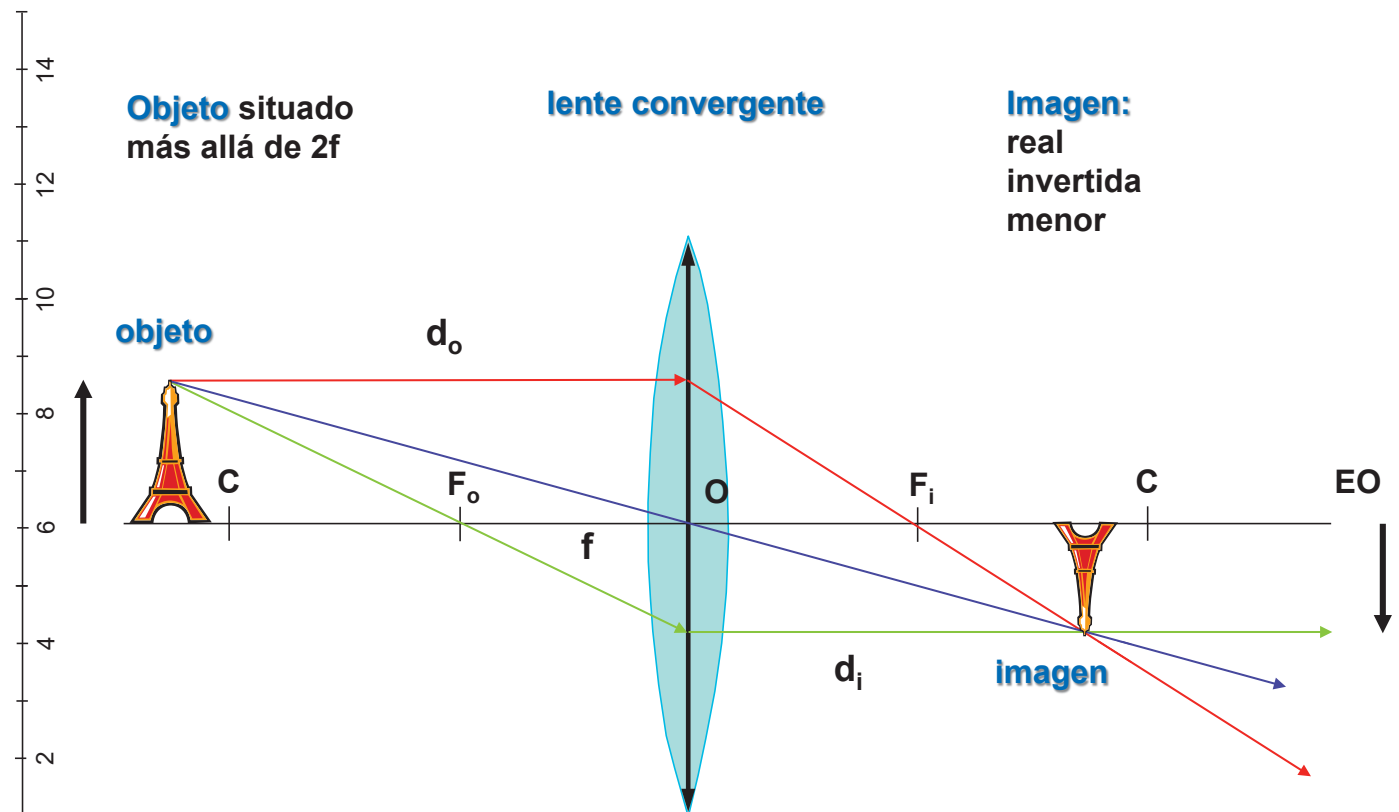
Centro Óptico

Los rayos que pasan por el **centro óptico** de la lente, no se desvían.

3.4 Elementos de una lente

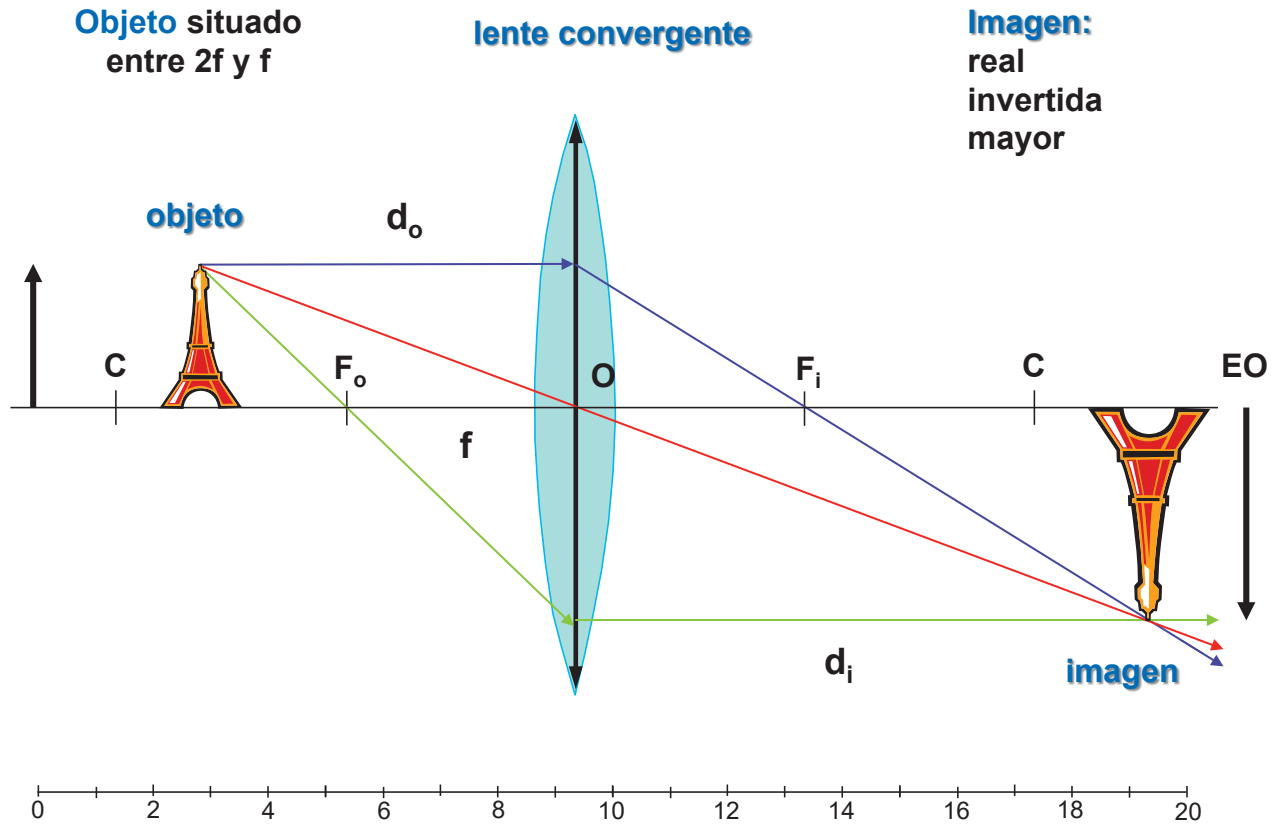


3.5 Lentes convergentes: formación de imágenes - 1

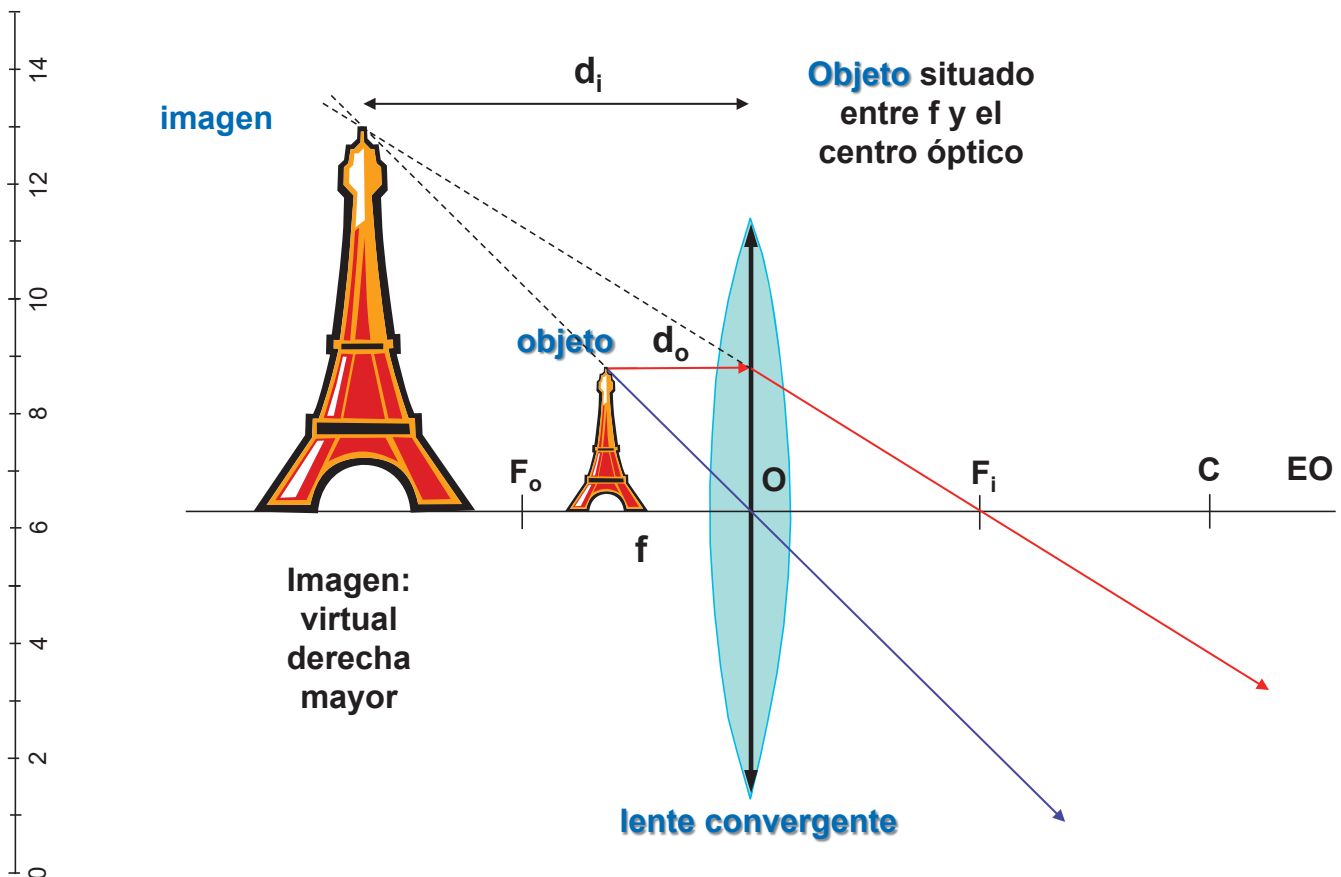


- La construcción gráfica de las imágenes se realiza dibujando al menos dos rayos de trayectorias conocidas y hallando su intersección después de refractarse en la lente.

3.6 Lentes convergentes: formación de imágenes - 2

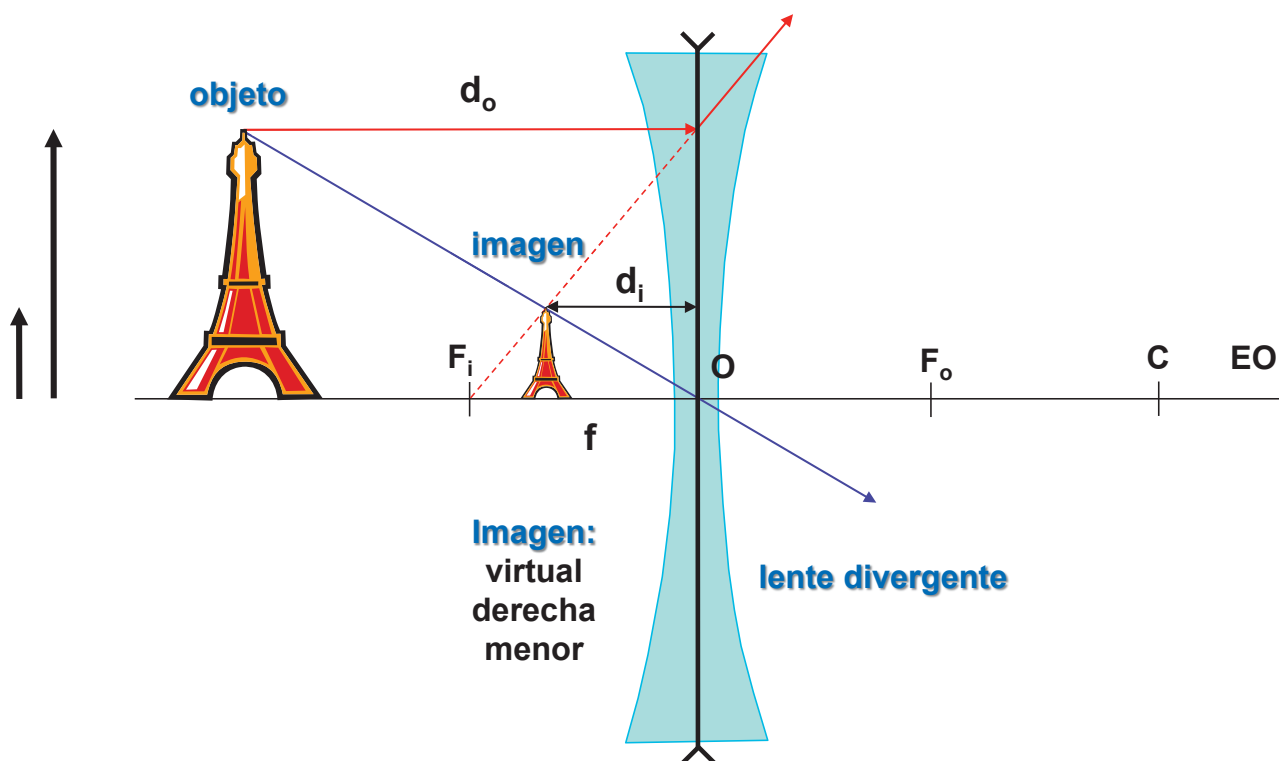


3.7 Lentes convergentes: formación de imágenes - 3



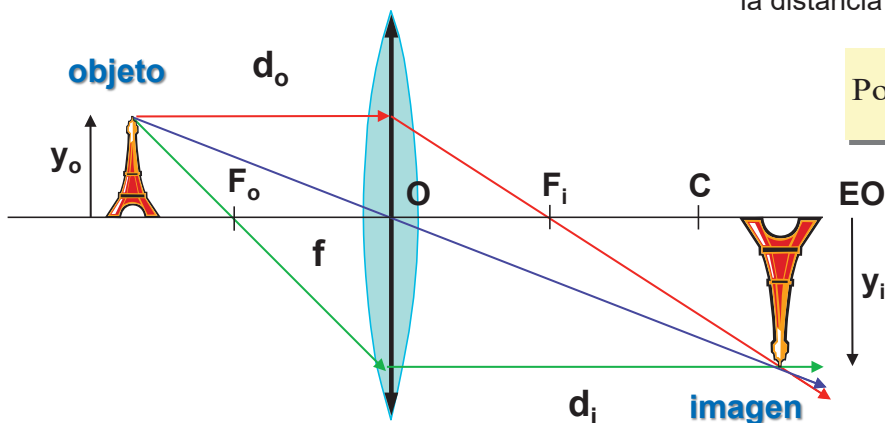
3.8 Lentes divergentes: formación de imágenes

En cualquier posición que se coloque el objeto, las lentes divergentes siempre forman imágenes virtuales, derechas y de menor tamaño que el objeto.



3.9 Ecuación, potencia y aumento de una lente

Potencia de una lente es la inversa de la distancia focal, expresada en metros.



$$\text{Potencia} = \frac{1}{f(\text{m})} \text{ (dioptrías)}$$

Ecuación de una lente

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

d_o distancia objeto: siempre +d, puesto que el objeto se coloca delante (a la izquierda) de la lente.

d_i distancia imagen: si la imagen es real +d_i; si es virtual -d_i

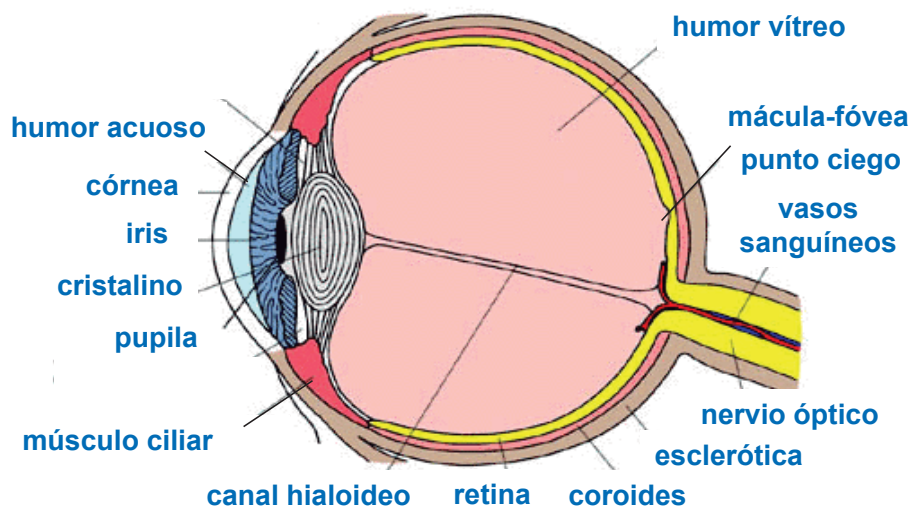
f distancia focal: lentes convergentes +f; lentes divergentes -f

Aumento lateral es la relación entre el tamaño de la imagen y el del objeto. Esa relación es proporcional a la distancia imagen y la distancia objeto.

$$A = \frac{y_i}{y_o} = \frac{d_i}{d_o}$$

4.1 El ojo humano

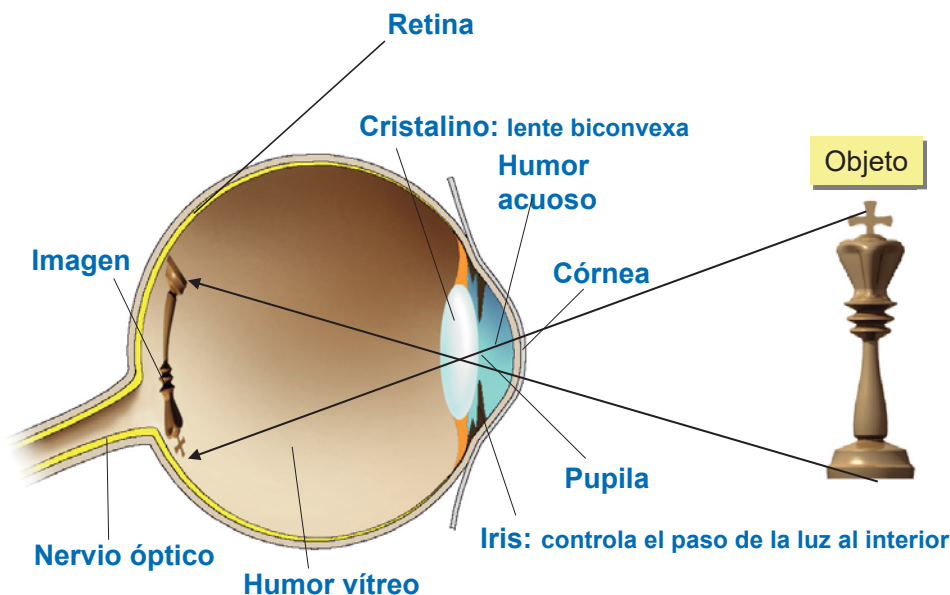
- **El ojo humano es un sistema óptico** constituido por un conjunto de medios transparentes que forman sobre la retina una imagen real e invertida de los objetos.
- El ojo está rodeado por una membrana exterior y resistente llamada **esclerótica** que se hace transparente en su parte anterior y central formando la **córnea**, que da paso a una lente convergente, el **cristalino**. La **coroides** es la capa que recubre internamente la esclerótica y su función es absorber parte de la luz que entra al ojo.



El cristalino ($n=1,47$) divide al ojo en dos partes: la anterior tiene un fluido, el **humor acuoso**, y la posterior otro, más gelatinoso el **humor vítreo**, los índices de refracción son similares al del agua.

4.2 El ojo humano

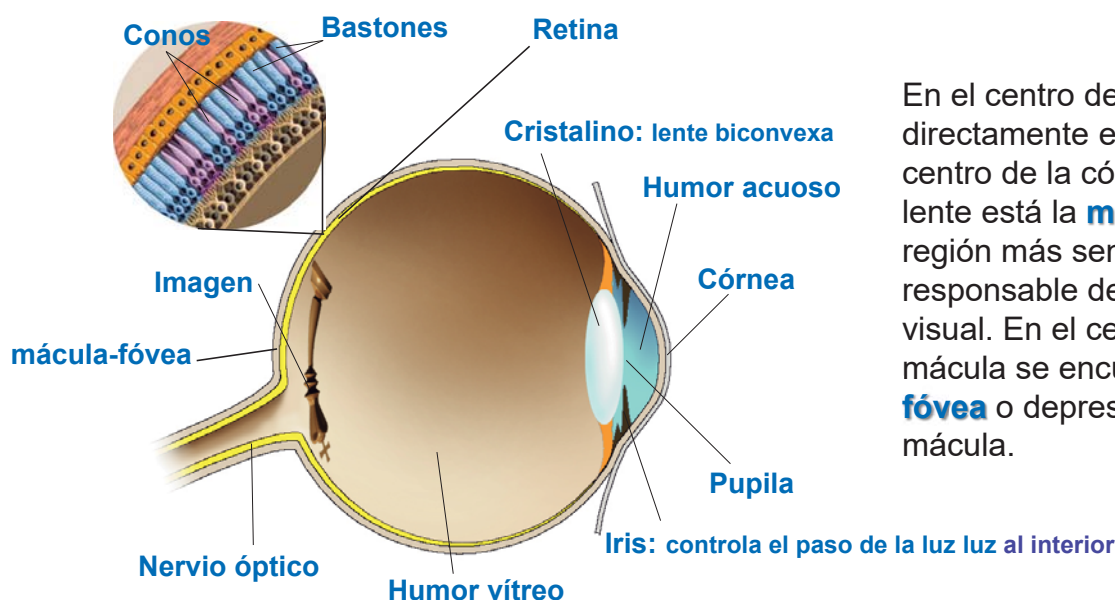
- La cantidad de luz que entra en el ojo se ajusta mediante un diafragma coloreado llamado **iris**, que posee una abertura, la **pupila**, cuyo diámetro está controlado por unas fibras musculares.
- El interior del ojo humano está formado por una serie de **medios transparentes a la luz** donde pueden aplicarse las **leyes de la óptica geométrica**.



La luz de un objeto llega al cristalino, que forma una **imagen real menor e invertida** sobre la retina, que contiene las prolongaciones del nervio óptico, cuya misión es transmitir las señales ópticas al cerebro.

4.3 El ojo humano

- La **retina** es el receptor óptico por excelencia. Es una finísima capa de unos 0,5 mm, formada por unas células fotorreceptoras llamadas **conos y bastones** que transforman las señales luminosas en eléctricas y las conducen al nervio óptico, que las envía al cerebro.
- Los bastones son sensibles a la luz y los conos a los colores. En el punto por el que el nervio óptico entra en el ojo no existen conos ni bastones, las imágenes que allí se forman no son visibles, es el **punto ciego**.



4.4 El ojo humano

Acomodación

- De ordinario, el ojo está enfocado al infinito, y cuando se ve un objeto más próximo, para que su imagen se forme en la retina, existen los llamados **músculos ciliares**, que cambian la forma del cristalino, variando su distancia focal, llamando a este ajuste **acomodación**.
- Un ojo normal puede acomodar sin fatiga objetos situados hasta una distancia mínima de 25 cm, posición que se llama **punto próximo**.
- Por el contrario, el **punto remoto** es aquel que se halla a una distancia para la cual el ojo ha llegado al límite de acomodación, y para un ojo normal está en el infinito.

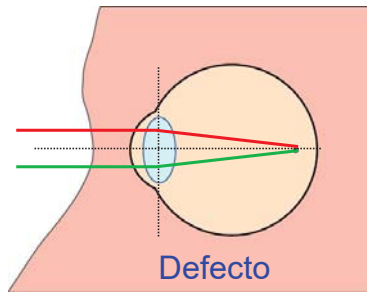
Adaptación a la Oscuridad

- El mecanismo de la **visión nocturna** implica la sensibilización de las células de los bastones gracias al **pigmento de la rodopsina**, sintetizado en su interior. Para la producción de este pigmento es necesaria la **vitamina A y su deficiencia conduce a la ceguera nocturna**.
- La rodopsina se blanquea por la acción de la luz y los bastones deben reconstituirla en la oscuridad, de ahí que una persona que entra en una habitación oscura procedente del exterior con luz del sol, no puede ver hasta que el pigmento no empieza a formarse.

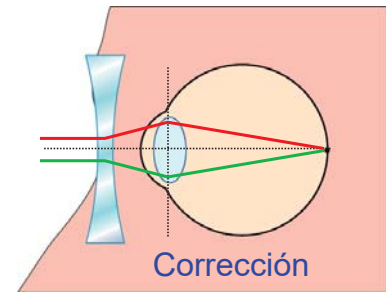
4.5 Defectos de la visión más frecuentes

Miopía

- Se debe a una deformación por alargamiento del globo ocular. El ojo miope enfoca correctamente en la retina los objetos cercanos.
- La imagen correspondiente a la visión lejana se forma delante de la retina; siendo borrosa



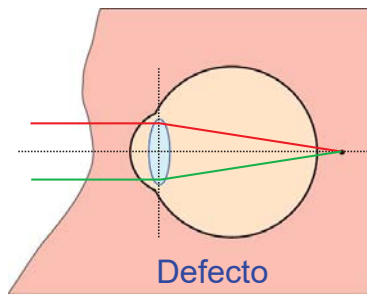
Defecto
La imagen se forma por delante de la retina.



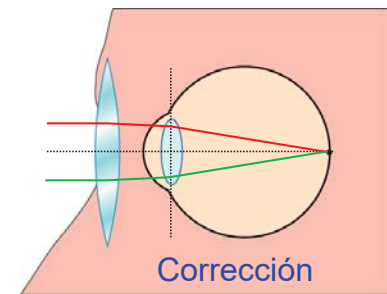
Corrección
Mediante una lente divergente se consigue un enfoque correcto.

Hipermetropía

- Alteración opuesta a la miopía. Se debe a que el ojo es demasiado corto, no se enfocan de forma correcta los objetos cercanos.
- La imagen se forma detrás de la retina. El ojo hipermetrope ve bien de lejos, pero mal de cerca.



Defecto
La imagen se forma por detrás de la retina.

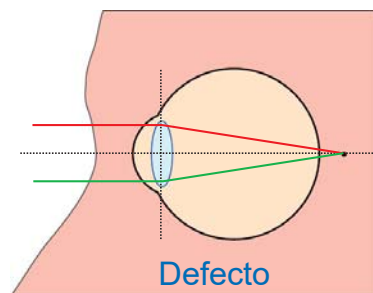


Corrección
Mediante una lente convergente se consigue un enfoque correcto.

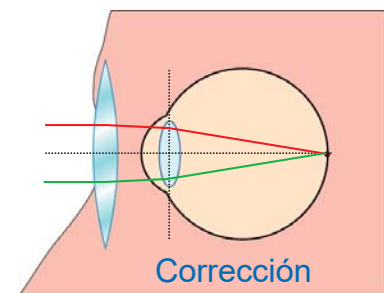
4.6 Defectos de la visión más frecuentes

Presbicia

- También llamada **vista cansada**. El ojo al envejecer pierde flexibilidad o poder de acomodación (alejamiento del punto próximo con la edad).



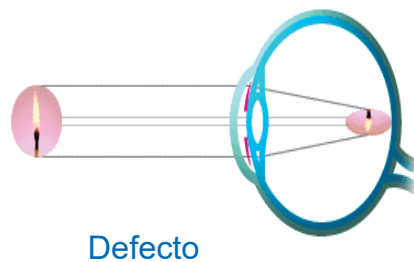
Defecto
Los objetos cercanos se ven mal. La imagen se forma detrás de la retina.



Corrección
La presbicia se corrige con lentes convergentes.

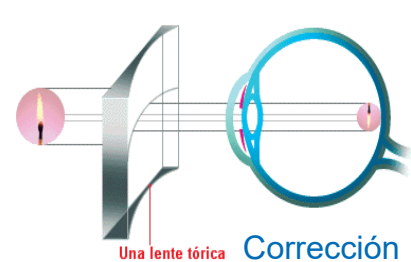
Astigmatismo

- Está originado porque la cornea no es perfectamente esférica, tiene diferente curvatura en un plano que en otro. Esto da como resultado una imagen borrosa.



Defecto

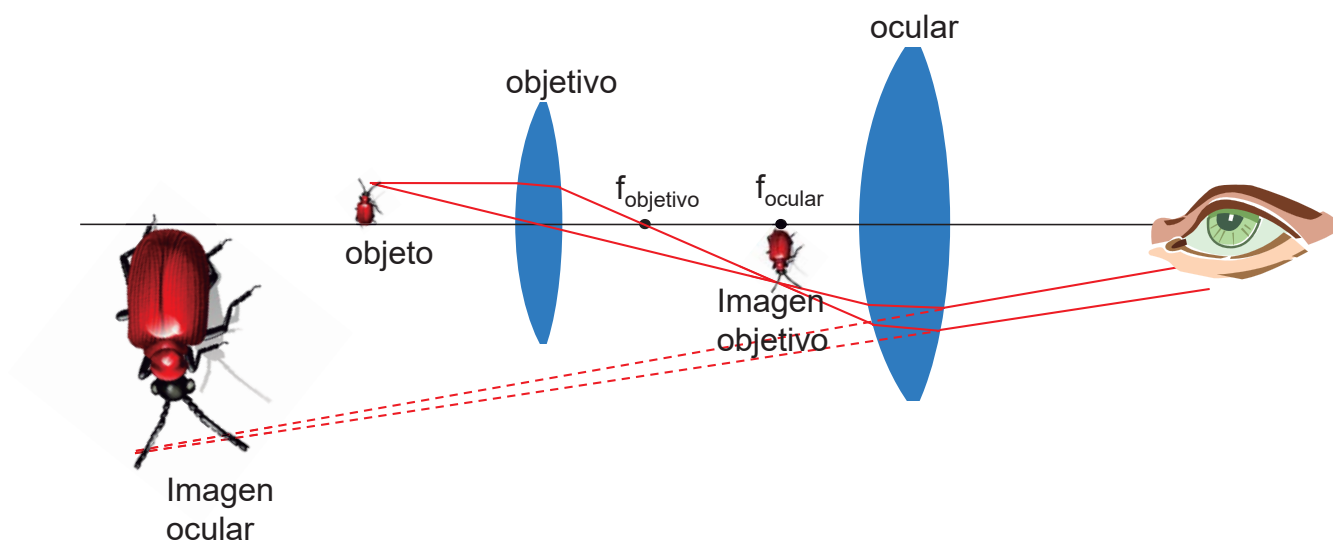
Un punto objeto da lugar a un corto segmento.



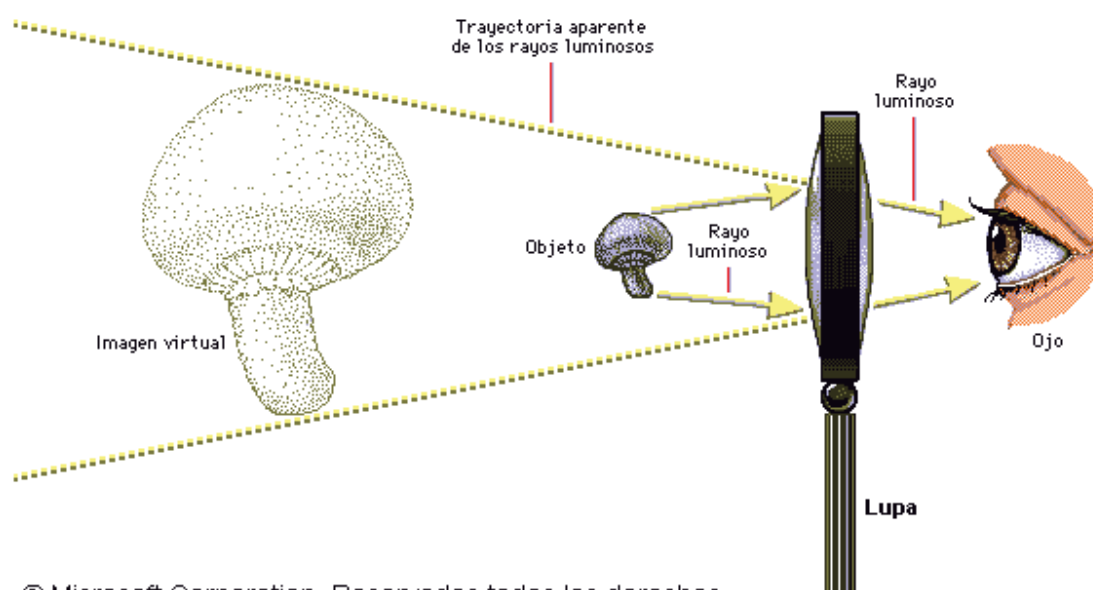
Una lente tórica Corrección

El astigmatismo se corrige con lentes que combinan la forma cilíndrica con la forma esférica.

5.1 Algunos instrumentos ópticos. Microscopio compuesto

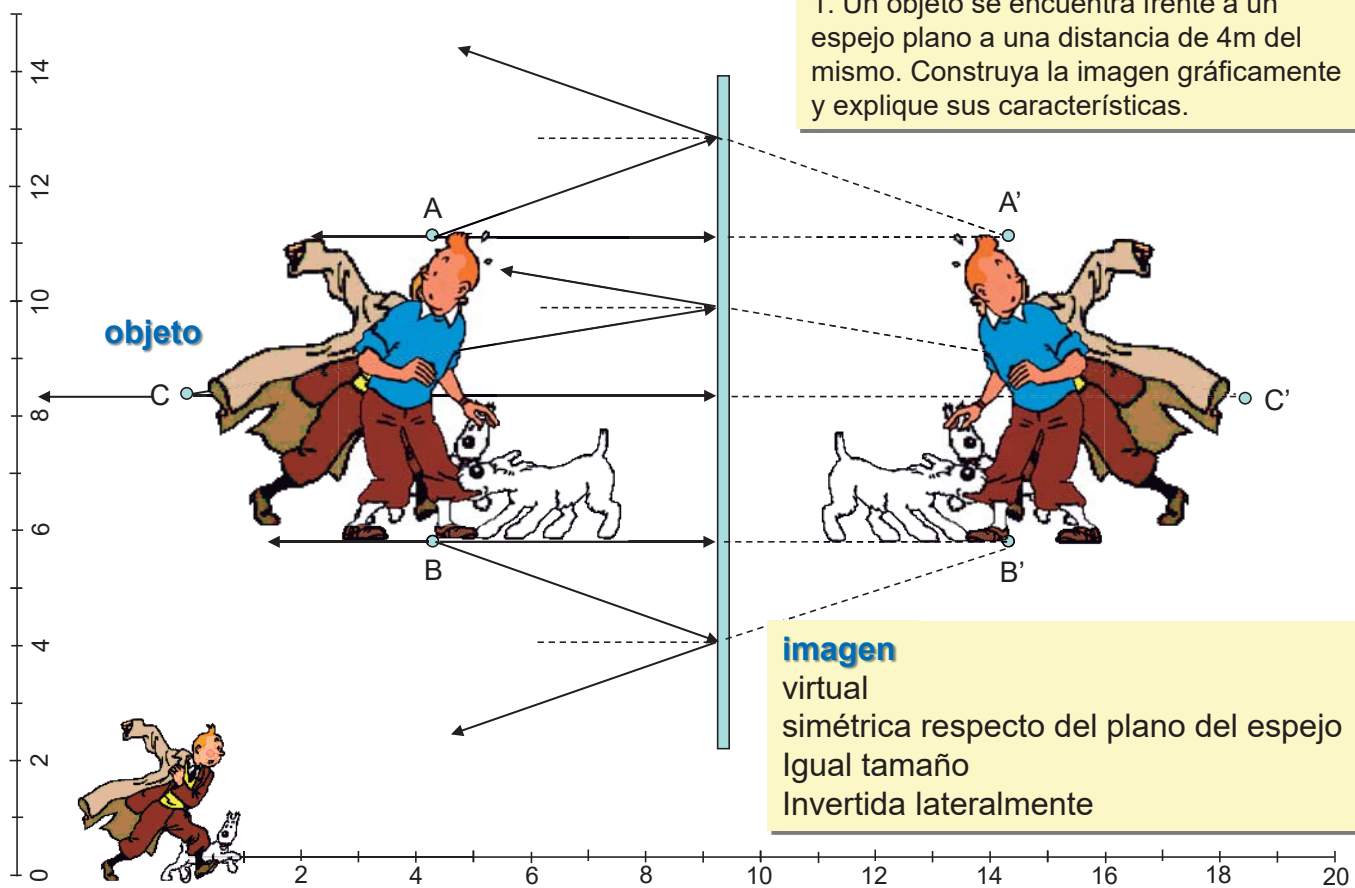


5.2 Algunos instrumentos ópticos. La lupa



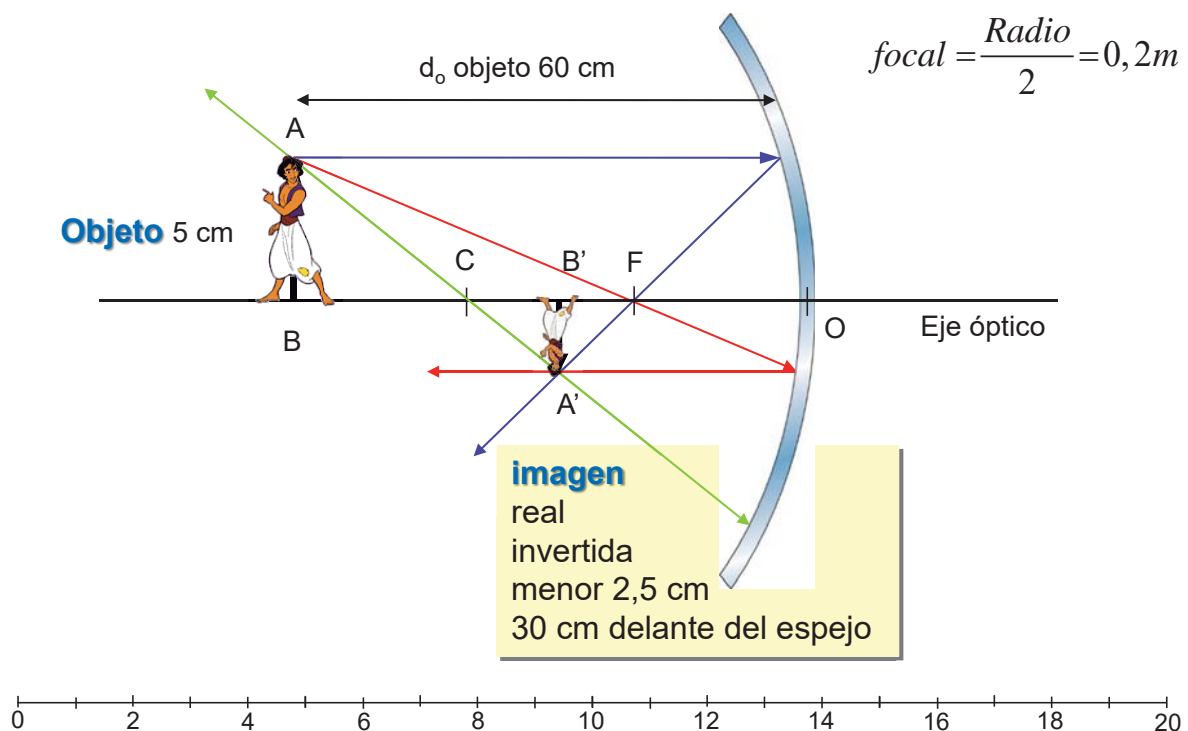
© Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

6. Ejercicios de óptica: espejo plano



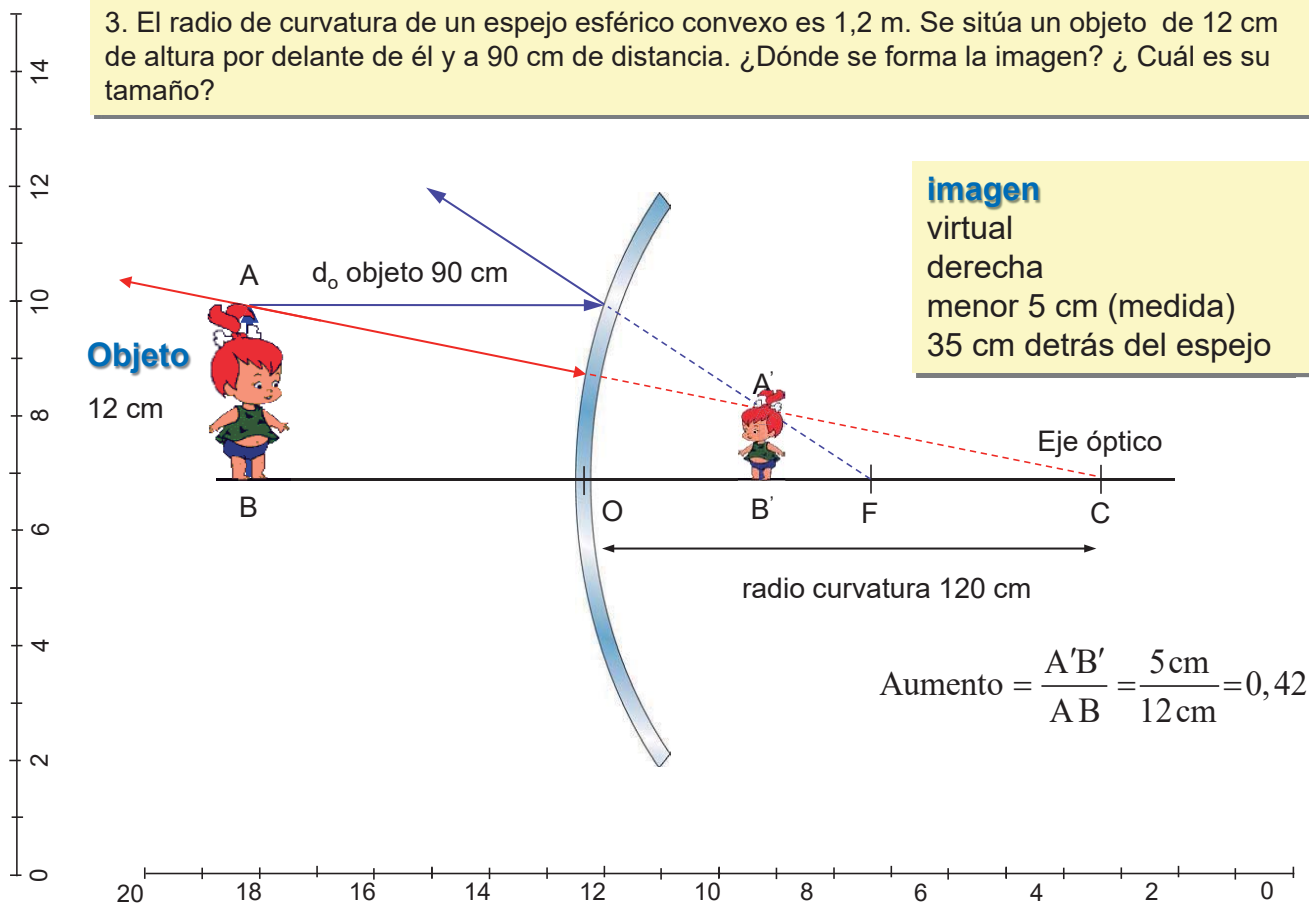
6. Ejercicios de óptica: espejo cóncavo

2. Delante de un espejo cóncavo con un radio de curvatura de 0,4 m se sitúa un objeto de 0,05 m de altura a una distancia de 0,6 m del vértice óptico. Calcula: a) La distancia focal del espejo. b) La posición y el tamaño de la imagen. Los resultados se obtienen gráficamente.



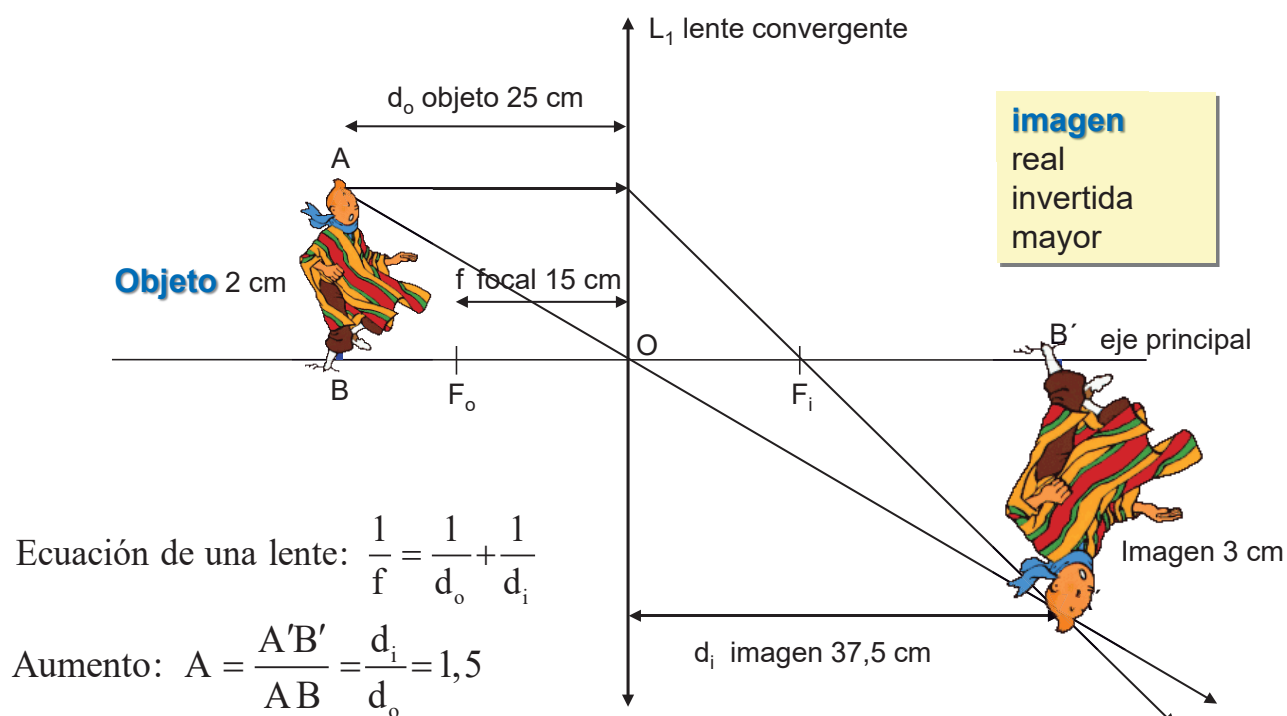
6. Ejercicios de óptica: espejo convexo

3. El radio de curvatura de un espejo esférico convexo es 1,2 m. Se sitúa un objeto de 12 cm de altura por delante de él y a 90 cm de distancia. ¿Dónde se forma la imagen? ¿Cuál es su tamaño?



6. Ejercicios de óptica: lente convergente

4. Un objeto de 2 cm se coloca a 25 cm de una lente convergente de 15 cm de distancia focal. Determina gráficamente la posición y el tamaño de la imagen que se forma.



6. Ejercicios de óptica: lente convergente

5. Un objeto de 2 cm se coloca a 6 cm de un lente convergente de 10 cm de distancia focal. Determina, gráficamente, la posición y el tamaño de la imagen formada.

imagen virtual derecha mayor 5 cm

d_i (medida) 15 cm

Objeto 2 cm d_o 6 cm

$f = 10$ cm

lente convergente

Ecuación de una lente

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow d_i = -15 \text{ cm}$$

Aumento $A = \frac{A'B'}{AB} = \frac{d_i}{d_o} = 2,5$

6. Ejercicios de óptica: lente divergente

Potencia_{lente} = $\frac{1}{f(\text{m})} \Rightarrow -4,5 \text{ dioptrías} = \frac{1}{f(\text{m})} \Rightarrow f = -0,22 \text{ m} = -22 \text{ cm}$

L_1 lente divergente

imagen virtual derecha menor

$d_o = 50$ cm

Objeto **imagen**

f dist focal -22 cm

$d_i = -15,3$ cm

eje principal

Ecuación de una lente

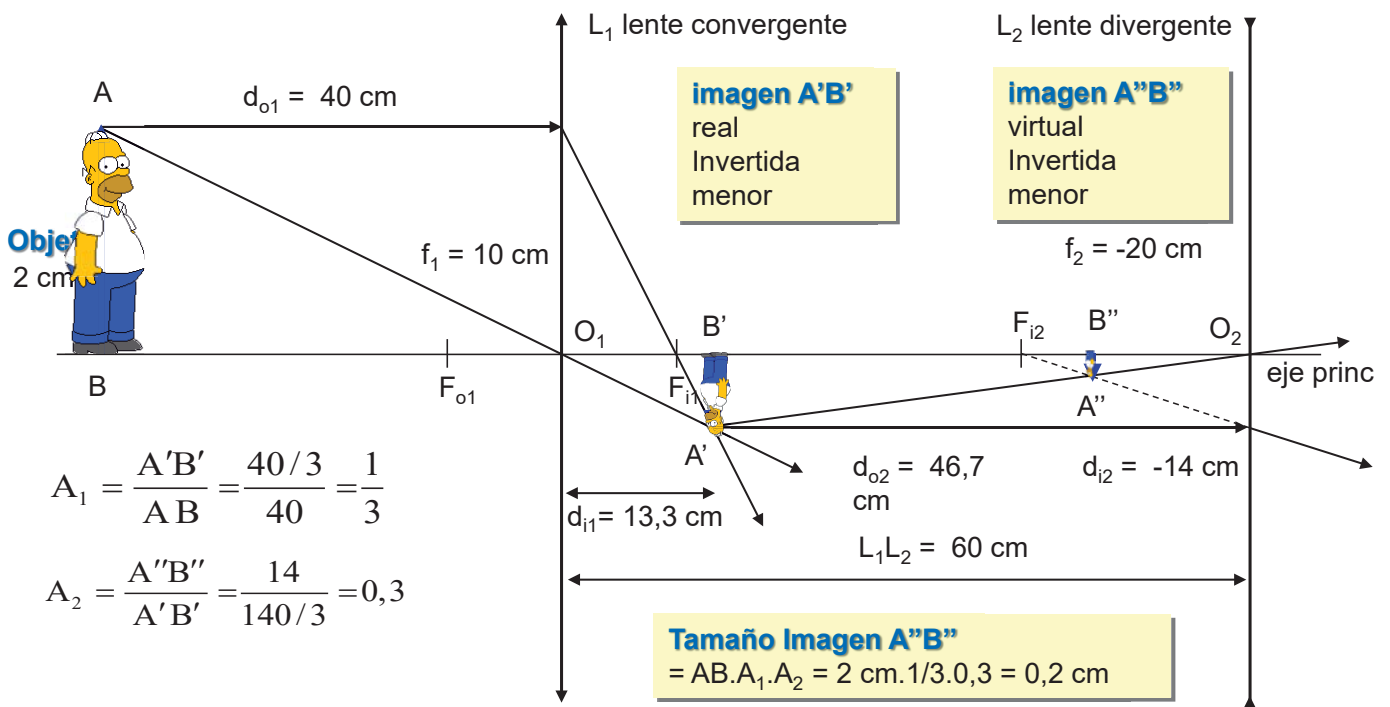
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow \frac{1}{-22} = \frac{1}{50} + \frac{1}{d_i} \Rightarrow d_i = -15,3 \text{ cm}$$

Aumento $A = \frac{A'B'}{AB} = \frac{d_i}{d_o} = \frac{15,3}{50} = 0,3$

5. Tenemos una lente de -4,5 dioptrías de potencia. Ponemos un objeto delante de la lente a 50 cm de distancia. a) ¿Dónde se forma la imagen y de qué tipo es? ¿Cuál es el aumento lateral obtenido? Haz un diagrama de rayos y los cálculos pertinentes. b) Si se puede, ¿dónde deberíamos poner el objeto para obtener una imagen real?. Justifica la respuesta.

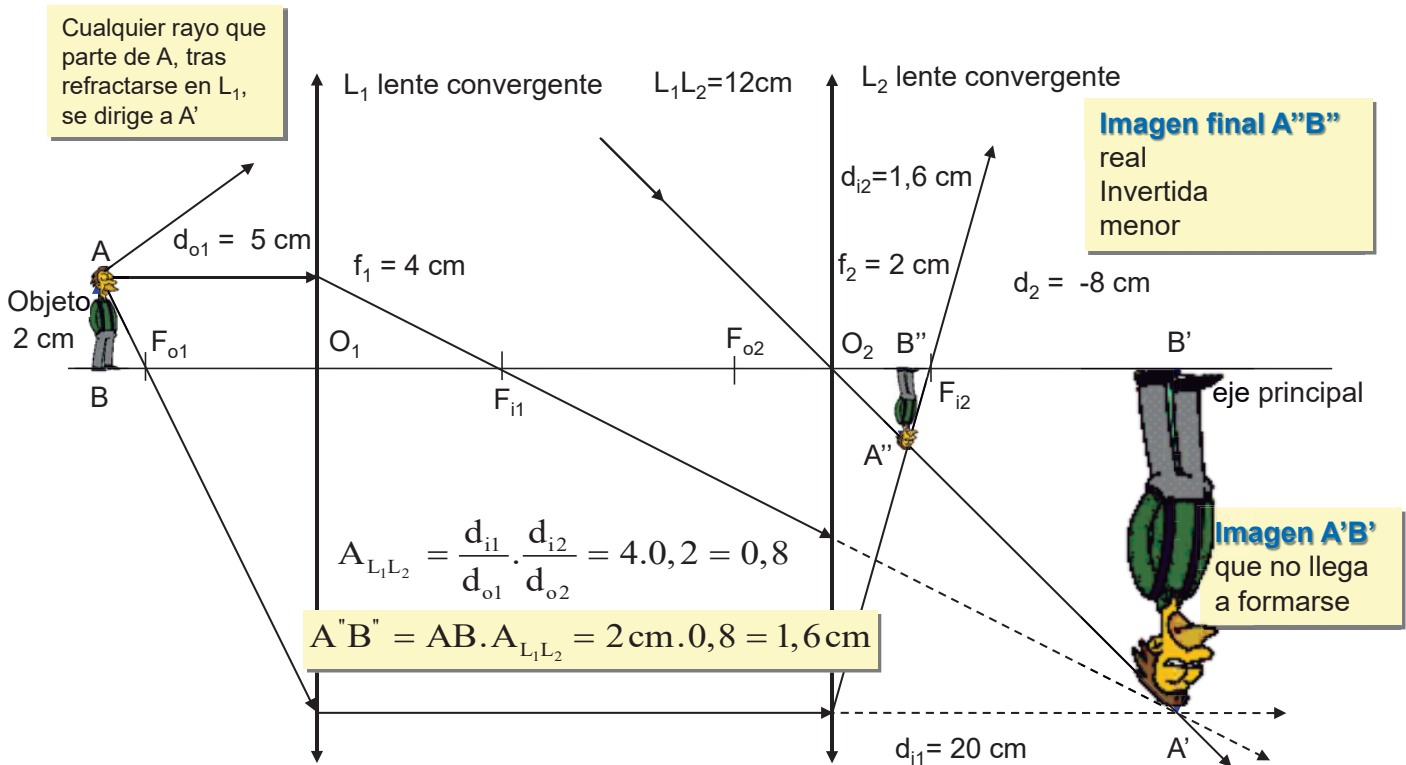
Las lentes divergentes siempre forman imágenes virtuales.

6. Ejercicios de óptica: sistema de lentes convergente – divergente



7. Un objeto de 2 cm se encuentra a 40 cm de una lente convergente, de distancia focal 10 cm. Una segunda lente divergente, de distancia focal 20 cm, está situada 60 cm detrás de la primera. Determina gráficamente las características de la imagen final que se forma; su posición y tamaño.

6. Ejercicios de óptica: sistema de lentes convergentes



8. Un objeto de 2 cm se encuentra a 5 cm de una lente convergente, de distancia focal 4 cm. Una segunda lente también convergente, de distancia focal 2 cm, está situada 12 cm detrás de la primera. Determina gráficamente las características de la imagen final que se forma, su posición y tamaño.

6. Ejercicios de óptica: sistema de lentes convergente – divergente

L₁ lente convergente $L_1 L_2 = 9 \text{ cm}$ **L₂ lente divergente**

Objeto AB 2 cm $d_{o1} = 6 \text{ cm}$ $f_1 = 3 \text{ cm}$

Imagen 1
real
Invertida
igual

Imagen 2
virtual
Invertida
menor

$A_{L_1 L_2} = A_{L_1} \cdot A_{L_2} = \frac{d_{i1}}{d_{o1}} \cdot \frac{d_{i2}}{d_{o2}} = \frac{6}{6} \cdot \frac{1,5}{3} = 0,5$

Tamaño Imagen 2 $= AB \cdot A_1 \cdot A_2 = 2 \text{ cm} \cdot 0,5 = 1 \text{ cm}$

$d_{i1} = 6 \text{ cm}$ $d_{i2} = -1,5 \text{ cm}$ $d_{o2} = 3 \text{ cm}$

9. Un objeto de 2 cm se encuentra a 6 cm de una lente convergente, de distancia focal 3 cm. Una segunda lente divergente, de distancia focal 3 cm, está situada 9 cm detrás de la primera. Determina gráficamente las características de la imagen final que se forma, así como su posición y tamaño.

6. Microscopio compuesto

Par de lentes convergentes que son el esquema del funcionamiento de un **Microscopio Compuesto**

El **objeto AB** se coloca delante del objetivo, a una distancia ligeramente superior a su focal

L₁ objetivo $L_1 L_2 = 9,5 \text{ cm}$ **L₂ ocular**

Objeto AB $d_{o1} = 3 \text{ cm}$ $f_1 = 2 \text{ cm}$ $f_2 = 5 \text{ cm}$

Imagen A'B''
virtual
Invertida
mayor

La **imagen A'B'** de la primera lente ha de formarse dentro de la focal de la segunda lente

rayos divergentes

$A_{\text{microscopio}} = \frac{d_{i1}}{d_{o1}} \cdot \frac{d_{i2}}{d_{o2}} = \frac{6}{3} \cdot \frac{11,7}{3,5} = 6,7$

10. Dos lentes convergentes de distancias focales +2 cm y +5 cm respectivamente están separadas 9,5 cm. Se sitúa un objeto a 3 cm por delante de la primera. Calcular la posición y el aumento de la imagen final formada por ambas lentes.

7. Cuestiones de óptica

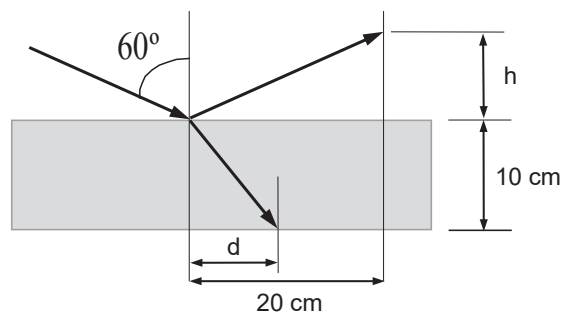
1. a) ¿Qué se entiende por interferencia de la luz? b) ¿Por qué no observamos la interferencia de la luz producida por los faros de un automóvil?
2. a) Enunciar las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz. Explicar la diferencia entre ambos fenómenos. b) Comparar lo que ocurre cuando un haz de luz incide sobre un espejo y sobre un vidrio de ventana.
3. a) Describe brevemente el modelo corpuscular de la luz. ¿Puede explicar dicho modelo los fenómenos de interferencia luminosa?. b) Dos rayos de luz inciden sobre un punto. ¿Pueden producir oscuridad?. Explica razonadamente este hecho.
4. a) Explicar los fenómenos de reflexión y de la refracción de la luz. b) El índice de refracción del agua respecto del aire es $n > 1$. Razonar cuáles de las siguientes magnitudes cambian, y cómo, al pasar un haz de luz del aire al agua: frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación.
5. a) ¿En qué consiste la dispersión de la luz?. ¿Depende dicho fenómeno del índice de refracción del medio y/o de la longitud de onda de la luz?. b) Explicar la dispersión de la luz por un prisma, ayudándote de un esquema.
6. a) Explique los fenómenos de reflexión y refracción de una onda. b) ¿Tienen igual frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación la onda incidente, la reflejada y la refractada?
7. a) Explicar, con ayuda de un esquema, los fenómenos de reflexión y refracción de la luz y escribir sus leyes. b) ¿Puede formarse una imagen real con un espejo convexo?. Razonar la respuesta utilizando los esquemas que se consideren oportunos.
8. a) ¿En qué consiste el fenómeno de polarización de las ondas? b) ¿Se puede polarizar el sonido?. Razone la respuesta.

7. Ejercicios de óptica

14. Un rayo de luz amarilla, emitida por una lámpara de sodio, tiene una longitud de onda en el vacío de $580 \cdot 10^{-9}$ m. a) Determinar la velocidad de propagación y la longitud de onda de dicha luz en el interior de una fibra de cuarzo, cuyo índice de refracción es $n = 1,5$. b) ¿Pueden existir valores del ángulo de incidencia para los que un haz de luz, que se propague por el interior de una fibra de cuarzo, no salga al exterior?. Explicar el fenómeno y, en su caso, calcular los valores del ángulo de incidencia para los cuales tiene lugar. Dato: $c = 3 \cdot 10^8$ m.s $^{-1}$.

15. Un rayo de luz pasa del agua al aire con un ángulo de incidencia de 30° respecto a la normal. a) Dibujar en un esquema los rayos incidente y refractado y calcular el ángulo de refracción. b) ¿Cuál debería ser el ángulo de incidencia para que el rayo refractado fuera paralelo a la superficie de separación agua-aire?. Índice de refracción del agua respecto al aire $n = 1,3$.

16. Una lámina de vidrio, de índice de refracción 1,5, de caras paralelas y espesor 10 cm, está colocada en el aire. Sobre una de sus caras incide un rayo de luz, como se muestra la figura. Calcule: a) La altura h y la distancia d marcadas en la figura. b) El tiempo que tarda la luz en atravesar la lámina. $c = 3 \cdot 10^8$ m.s $^{-1}$.



7. Ejercicios de óptica

17. Un rayo de luz monocromática emerge desde el interior de un bloque de vidrio hacia el aire. Si el ángulo de incidencia es de $19,5^\circ$ y el de refracción de 30° . a) Determine el índice de refracción y la velocidad de propagación de la luz en el vidrio. b) Como sabe, pueden existir ángulos de incidencia para los que no hay rayo refractado; es decir, no sale luz del vidrio. Explique este fenómeno y calcule los ángulos para los que tiene lugar. $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $n_{\text{aire}} = 1$.

18. Cuando un rayo de luz se propaga a través del agua ($n = 1,33$) emerge hacia el aire para ciertos valores del ángulo de incidencia y para otros no. a) Explica este fenómeno e indica para qué valores del ángulo de incidencia emerge el rayo. b) ¿Cabría esperar un hecho similar si la luz pasa del aire al agua?

19. Un haz de luz roja penetra en una lámina de vidrio, de 30 cm de espesor, con un ángulo de incidencia de 45° . a) Explique si cambia el color de la luz al penetrar en el vidrio y determine el ángulo de refracción. b) Determine 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?. $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $n_{\text{vidrio}} = 1,3$.

20. a) Un objeto se encuentra frente a un espejo plano a una distancia de 4 m del mismo. Construir gráficamente la imagen y explicar sus características. b) Repetir el apartado anterior si se sustituye el espejo plano por uno cóncavo de 2m de radio.

21. a) Un objeto se encuentra a una distancia de 0,6 m de una lente delgada convergente de 0,2 m de distancia focal. Construir gráficamente la imagen que se forma y explicar sus características. b) Repetir el apartado anterior si el objeto se coloca a 0,1m de la lente.

22. Construya la imagen de un objeto situado a una distancia entre f y $2f$ de una lente: a) convergente; b) divergente. Explique en ambos casos las características de las imágenes.