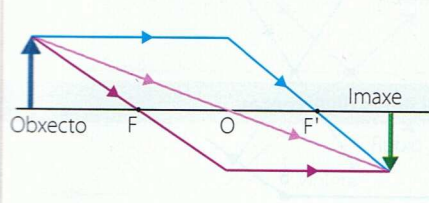
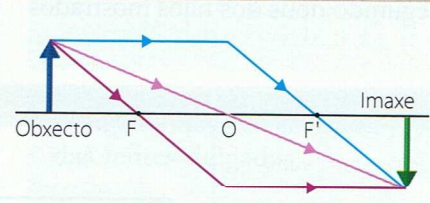
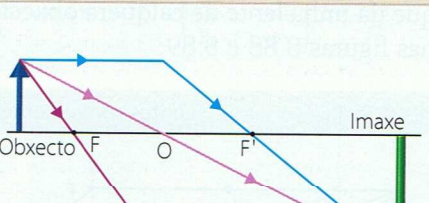
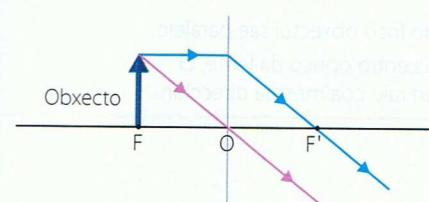
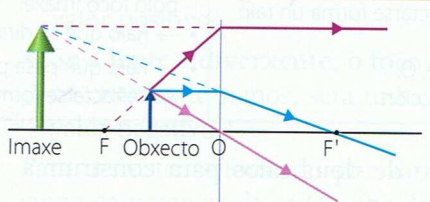
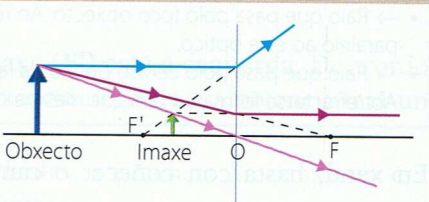


Formación de imaxes nunha lente delgada converxente: obxecto á esquerda do foco

Á esquerda de 2F	Obxecto en 2F	Obxecto entre 2F e F
		
Figura 8.91.	Figura 8.92.	Figura 8.93.
		
Imaxe	Imaxe	Imaxe
• Entre F' e 2F'. • Real. • Invertida. • Menor ca o obxecto.	• En 2F'. • Real. • Invertida. • Igual ca o obxecto.	• Á dereita de 2F'. • Real. • Invertida. • Maior ao obxecto.

Formación de imaxes nunha lente delgada converxente

Obxecto no foco	Obxecto á dereita do foco	Formación de imaxes nunha lente diverxente (obxecto en calquera punto)
		
Figura 8.94.	Figura 8.95.	Figura 8.96.
		
Imaxe	Imaxe	Imaxe
• Non hai imaxe.	• Á esquerda de O, detrás do obxecto. • Virtual. • Dereita. • Maior ca o obxecto.	• Entre O e F'. • Virtual. • Dereita. • Menor ca o obxecto.

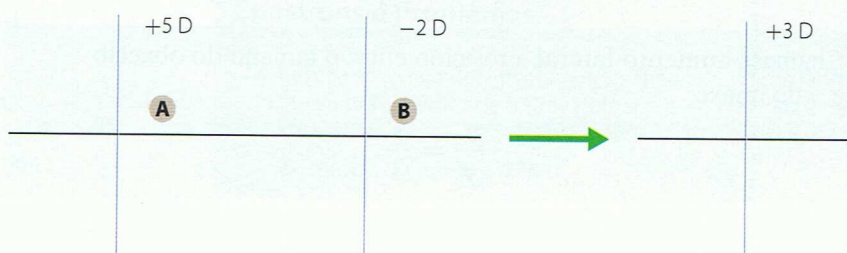
4.6. Sistemas ópticos

Un sistema óptico está formado por dous ou máis elementos ópticos, como lentes ou espellos.

A imaxe que o primeiro elemento dá dun obxecto actúa de obxecto para o segundo elemento do sistema, e así sucesivamente. Pódense coñecer a posición e o tamaño da imaxe resultante aplicando a lei adecuada a cada elemento. Un sistema óptico que resulte da combinación de varias lentes terá unha potencia igual á suma das lentes individuais [figura 8.97]:

$$P_T = P_1 + P_2 + \dots = \sum_i P_i$$

Figura 8.97. Nun sistema formado por unha lente A converxente, cunha potencia de +5 D e outra lente B, diverxente, cunha potencia de -2 D, o conxunto terá unha potencia de +5 D - 2 D = 3 D; é dicir, as dúas lentes pódense substituír por unha lente converxente de 3 D de potencia.



Exemplos resoltos

- 10** Unha lente converxente forma, dun obxecto real, unha imaxe tamén real, invertida e aumentada 4 veces. Ao desprazar o obxecto 3 cm cara á lente, a imaxe que se obtén é virtual, dereita e co mesmo aumento en valor absoluto. Determine:

- A distancia focal imaxe e a potencia da lente.
- As distancias do obxecto á lente nos dous casos citados.
- As respectivas distancias imaxe.
- As construcións xeométricas correspondentes.

(C. Madrid. Xuño, 2007)

a), b), c) e d) Aplicamos a ecuación das lentes:

• Primeira situación: $4 = \frac{-y'}{y} = \frac{-s'_1}{s_1} \rightarrow s'_1 = -4s_1$

$$\frac{1}{s'_1} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{-4s_1} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f'} \rightarrow -5f' = 4s_1 \quad [1]$$

• Segunda situación: $4 = \frac{y'}{y} = \frac{-s'_2}{s_2} \rightarrow s'_2 = 4s_2$

$$\frac{1}{s'_2} - \frac{1}{s_2} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{4s_2} - \frac{1}{s_2} = \frac{1}{f'} \rightarrow -\frac{3}{4s_2} = \frac{1}{f'} \quad [2]$$

Como: $s_2 = s_1 + 3$ cm:

$$-\frac{3}{4s_2} = \frac{1}{f'} \rightarrow -\frac{3}{4 \cdot (s_1 + 3)} = \frac{1}{f'} \rightarrow -3f' = 4s_1 + 12 \text{ cm}$$

Como $-5f' = 4s_1$:

$$-3f' = -5f' + 12 \text{ cm} \rightarrow f' = 6 \text{ cm} \rightarrow P = 1/0,06 \text{ m} = 16,7 \text{ D}$$

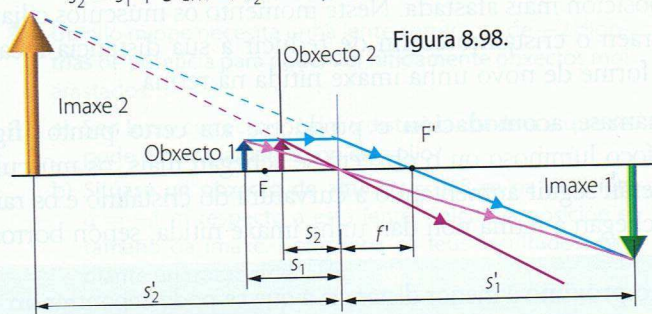
Da ecuación [1] dedúcese:

$$-5f' = 4s_1 \rightarrow -5 \cdot 6 \text{ cm} = 4s_1 \rightarrow s_1 = -7,5 \text{ cm}$$

Da ecuación [2] dedúcese:

$$s_2 = s_1 + 3 \text{ cm} \rightarrow s_2 = -7,5 \text{ cm} + 3 \text{ cm} = -4,5 \text{ cm}$$

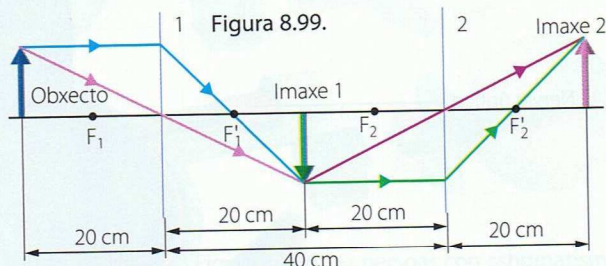
Figura 8.98.



- 11** Sexa un sistema de lentes, formado por dúas lentes converxentes idénticas, de distancia focal $f = 10$ cm e separadas por unha distancia de 40 cm segundo o eixe OX. Se colocamos un obxecto de 10 cm de altura a 20 cm dunha delas, calcular o tamaño da imaxe formada polo sistema de lentes. Que ocorrería se a separación das lentes fose maior?

(P. Asturias. Xuño, 2006)

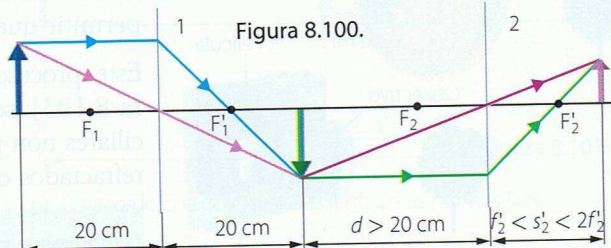
A imaxe que dá a lente 1 constitúe o obxecto da lente 2.



O obxecto está no punto $2F_1$, a unha distancia da lente que é o dobre da focal. A imaxe (frecha verde) aparecerá a unha distancia igual a $2f'$ do outro lado da lente, será real, invertida e do mesmo tamaño.

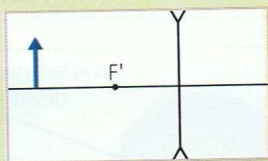
Con respecto á segunda lente, a imaxe fórmase a unha distancia igual a $2f'$. Formará unha imaxe do obxecto detrás da lente 2, a unha distancia de 20 cm ($2f'$) desta, e será do mesmo tamaño e invertida con respecto á anterior (frecha morada). A dobre inversión fai que a segunda imaxe sexa igual ca o obxecto.

Se as lentes estivesen máis separadas, a imaxe da primeira estará a unha distancia maior ca $2f$ da segunda, co que se obtería unha imaxe final de carácter real, invertida (respecto da frecha verde) e menor, e aparecería a unha distancia comprendida entre f'_2 e $2f'_2$, despois da segunda lente.



Cuestións e Problemas

- 23** a) Explicar o que é unha imaxe virtual.
b) Pode fotografarse unha imaxe virtual? Por que? Pon un exemplo sinxelo.
c) Se temos un obxecto situado á esquerda dunha lente diverxente tal como se mostra na figura, determinar graficamente a posición da imaxe e o tamaño.



- d) Cales son as características da imaxe?

(Cantabria. Xuño, 2007)

- 24** Un obxecto de 1 cm de altura está situado a 50 cm dunha lente converxente de $+15$ cm de distancia focal.

- Debuxa o diagrama de raios correspondente e especifica as características da imaxe.
- Calcula a posición da imaxe.
- Determina o tamaño da imaxe.

(Canarias. Xuño, 2007)

- 25** Dúas lentes converxentes, cada unha delas de 10 cm de distancia focal, están separadas 35 cm. Un obxecto está a 20 cm á esquerda da primeira lente.

- Determinar a posición da imaxe final utilizando un diagrama de raios e a ecuación das lentes delgadas.
- A imaxe é real ou virtual? Dereita ou invertida?
- Cal é a amplificación lateral total da imaxe?

(A Rioxa. Setembro, 2006)

O ollo

O ollo é o órgano da visión. É unha estrutura case esférica duns 25 mm de diámetro, chamada **globo ocular** [figura 8.101].

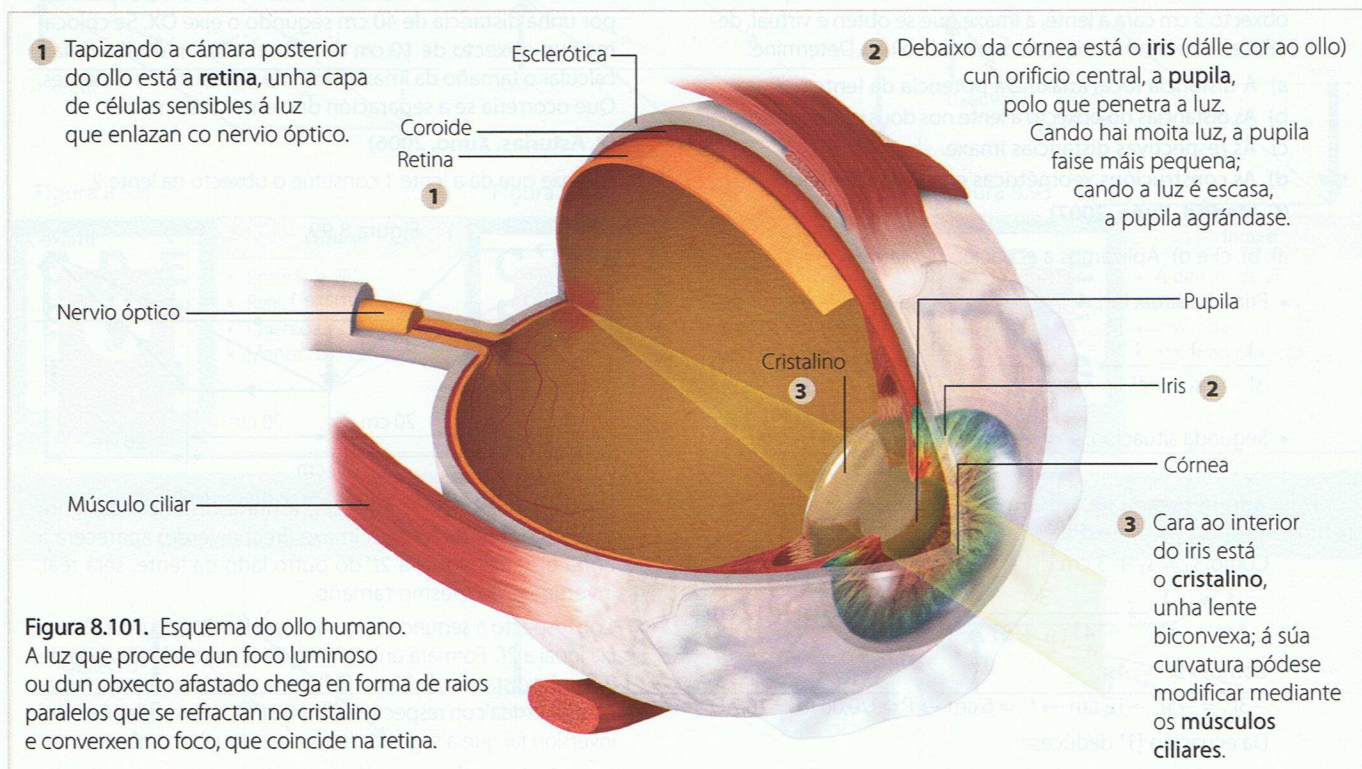


Figura 8.101. Esquema do ollo humano.

A luz que procede dun foco luminoso ou dun obxecto afastado chega en forma de raios paralelos que se refractan no cristalino e converxen no foco, que coincide na retina.

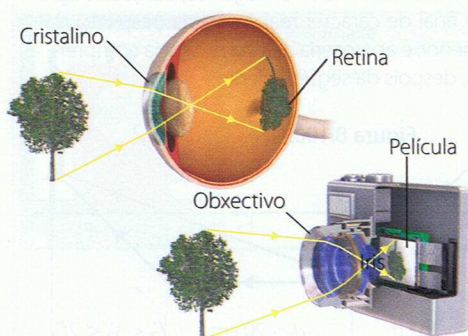


Figura 8.102. A retina do ollo ten un papel similar ao da película ou sensor dixital dunha cámara fotográfica.

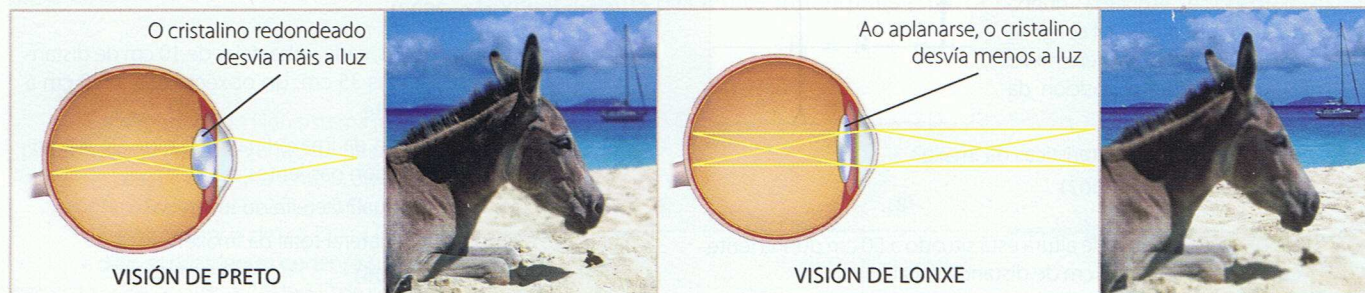
Cando o foco luminoso ou o obxecto se achegan ao ollo, a súa imaxe formarase nunha posición máis afastada. Neste momento os músculos ciliares ténsanse e contraen o cristalino co fin de reducir a súa distancia focal e permitir que se forme de novo unha imaxe nítida na retina.

Este proceso chámase **acomodación** e prodúcese ata certo punto [figura 8.103]: se o foco luminoso ou o obxecto se achegan máis, os músculos ciliares non poderán seguir aumentando a curvatura do cristalino e os raios refractados que chegan á retina non dan unha imaxe nítida, senón borrosa.

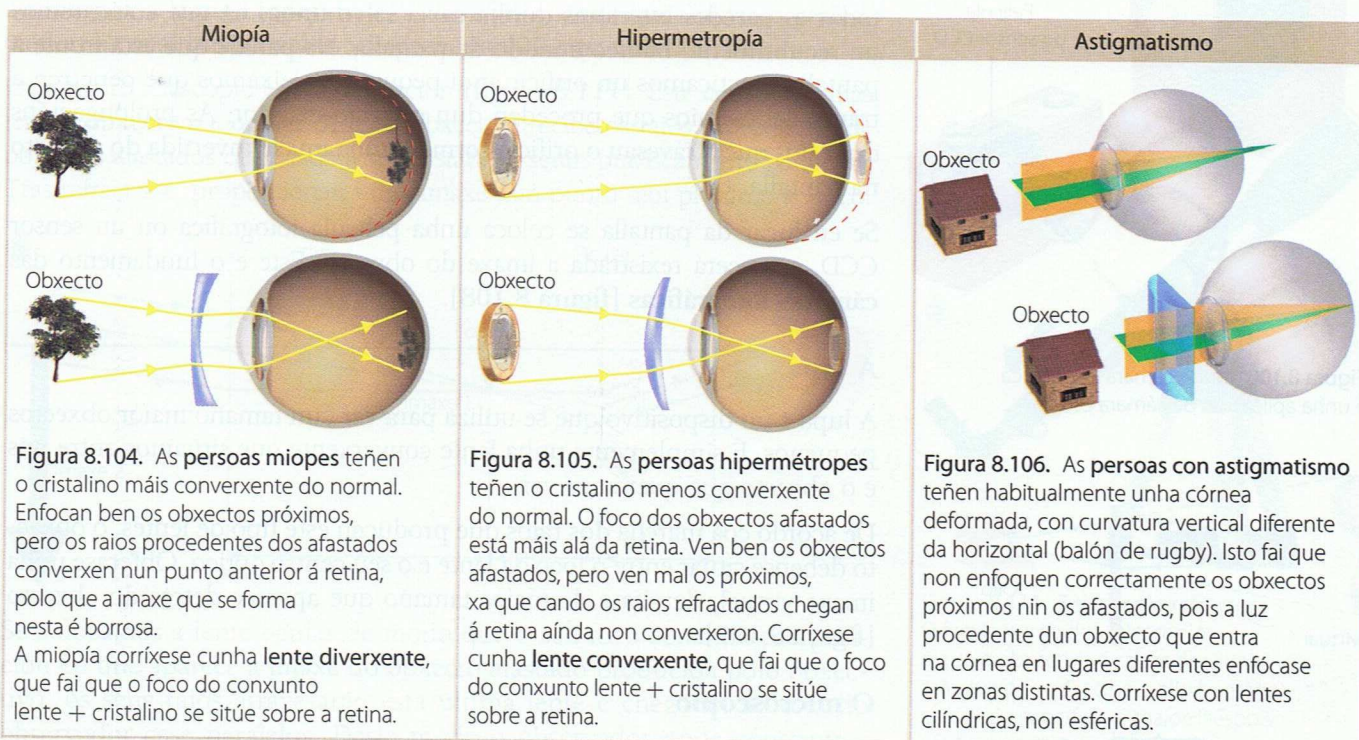
Chámase **punto próximo** á menor distancia á que se pode encontrar un obxecto que produce imaxe nítida na retina; o seu valor está arredor dos 25 cm, aínda que varía con cada persoa e coa súa idade.

A medida que as persoas se fan maiores, diminúe a capacidade de contracción dos músculos ciliares e, con iso, a capacidade de acomodación. É un defecto óptico denominado **presbicia** que afasta o punto próximo e dificulta a visión a distancias curtas (**vista cansada**).

Figura 8.103. Acomodación.



Existen varios defectos da visión relacionados coas características do cristalino e a córnea: a **miopía**, a **hipermetropía** e o **astigmatismo** [figuras 8.104, 8.105 e 8.106].



Exemplo resolto

- 12** Un ollo miope necesita unha lente correctora de -2 dioptrías de potencia para poder ver nitidamente obxectos moi afastados.

- Sen lente correctora, cal é a distancia máxima á que se pode ver nitidamente con este ollo?
- Sitúase un obxecto de altura $y = 0,3$ m na posición $a = -1$ m respecto a esta lente. Calcula a posición e tamaño da imaxe. Comproba os teus resultados mediante un trazado de raios.

(Aragón. Xuño, 2006)

- Coa potencia determinamos a distancia focal da lente:

$$P = \frac{1}{f'} \rightarrow f' = \frac{1}{-2 \text{ D}} = -0,5 \text{ m} = -50 \text{ cm}$$

A distancia máxima á que se pode ver nitidamente con ese ollo coincide co foco da lente correctora; neste caso, 50 cm.

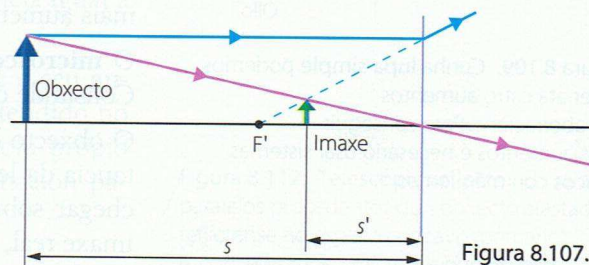


Figura 8.107.

- De acordo coa ecuación das lentes e as normas DIN:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{s'} - \frac{1}{-1 \text{ m}} = \frac{1}{-0,5 \text{ m}} \rightarrow \frac{1}{s'} = -\frac{1}{1 \text{ m}} - \frac{1}{0,5 \text{ m}} \rightarrow s' = -0,33 \text{ m} = -33,3 \text{ cm}$$

Entón:

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \rightarrow \frac{y'}{0,3 \text{ m}} = \frac{-0,33 \text{ m}}{-1 \text{ m}} \rightarrow y' = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

Cuestións e Problemas

- 26** O ollo humano aseméllase a un sistema óptico formado por unha lente converxente (o cristalino) de $+15$ mm de distancia focal. A imaxe dun obxecto afastado (no infinito) fórmase sobre a retina, que se considera como unha pantalla perpendicular ao sistema óptico.

Calcula:

- A distancia entre a retina e o cristalino.
- A posición da imaxe dunha árbore que está a 50 m do cristalino do ollo.
- O tamaño da imaxe dunha árbore de 10 m de altura que está a 100 m do ollo.

(Canarias. Xuño, 2005)

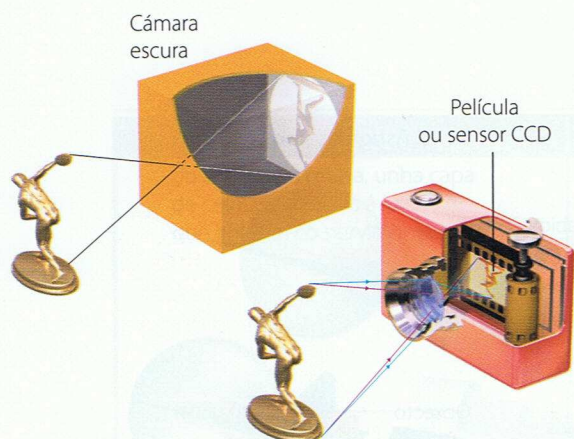


Figura 8.108. Unha cámara fotográfica é unha aplicación da cámara escura.

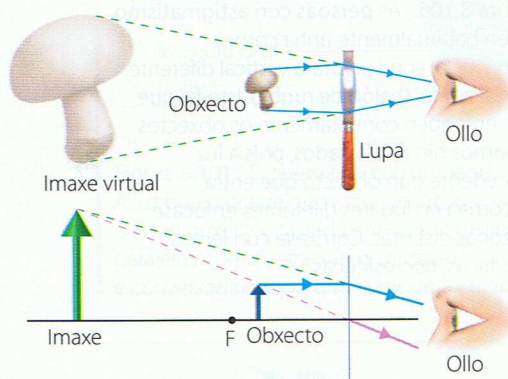
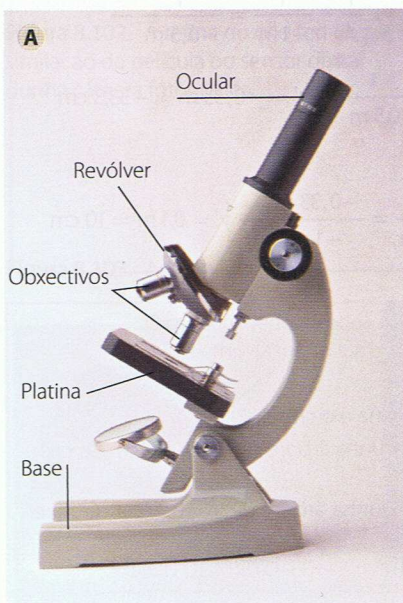


Figura 8.109. Cunha lupa simple podemos obter ata catro aumentos sen aberracións. Para conseguir máis aumentos é necesario usar sistemas ópticos con máis lentes.



A cámara escura

Este sistema óptico é unha simple consecuencia da propagación rectilínea da luz. Podemos construír unha cámara escura forrando de negro todas as paredes interiores dunha caixa salvo unha, na que colocaremos un recubrimento branco a modo de pantalla. Na parede que está fronte á pantalla practicamos un orificio moi pequeno e deixamos que penetren a través del os raios que proceden dun obxecto exterior. As prolongacións dos raios que atravesan o orificio forman unha imaxe invertida do obxecto na pantalla.

Se en lugar da pantalla se coloca unha película fotográfica ou un sensor CCD, aparecerá rexistrada a imaxe do obxecto. Este é o fundamento das cámaras fotográficas [figura 8.108].

A lupa

A lupa é un dispositivo que se utiliza para ver cun tamaño maior obxectos pequenos. É simplemente unha lente converxente que situamos entre nós e o obxecto que queremos ver.

De acordo coa marcha dos raios que producen este tipo de lentes, o obxecto débense situar entre o foco da lente e o seu centro óptico. Obterase unha imaxe virtual, dereita e de maior tamaño que aparece detrás do obxecto [figura 8.109].

O microscopio

O microscopio é un aparello que se utiliza para ver aumentados obxectos moi próximos e de pequeno tamaño. Con frecuencia úsase para conseguir máis aumentos que coa lupa.

O **microscopio composto** foi inventado en Holanda cara ao ano 1600. Consta de dúas lentes converxentes, denominadas **obxectivo** e **ocular**.

O obxecto que se vai examinar colócase sobre unha **platina**, a unha distancia da lente obxectivo un pouco maior ca a súa distancia focal. Fanse chegar sobre o obxecto os raios luminosos, o que permite obter unha imaxe real, invertida e de maior tamaño ca o obxecto. Esta imaxe creárase a unha distancia da lente ocular menor ca a súa distancia focal, polo que esta segunda lente dará unha imaxe virtual, dereita e de maior tamaño. En definitiva, as dúas lentes darán unha imaxe bastante ampliada do obxecto inicial [figura 8.110].

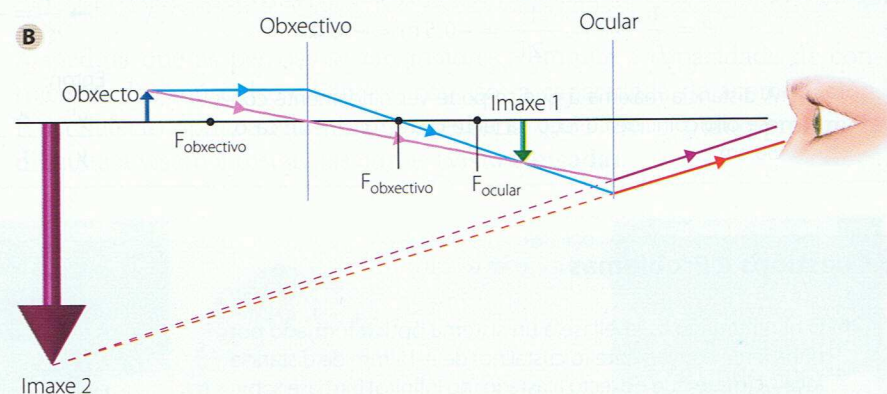
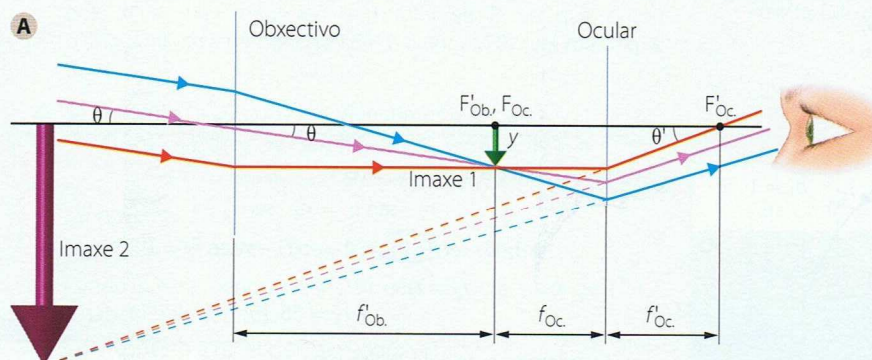


Figura 8.110. Microscopio (A) e formación de imaxes nun microscopio (B). Con frecuencia os microscopios poden utilizar distintas lentes obxectivo. Elíxese a adecuada facendo xirar unha peza denominada **revólver**. Tamén é posible achegar ou afastar o obxecto da lente obxectivo desprazando a platina por medio do **parafuso micrométrico**.

O telescopio

O telescopio utilízase para ver obxectos afastados de gran tamaño que a simple vista aparecen moi pequenos: planetas, estrelas, etc. O invento atribúeselle a **Hans Lippershey** (1570-1619), aínda que Galileo o perfeccionou e construíu modelos que permitían 30 aumentos ($30\times$).

O primeiro telescopio era de refracción [figura 8.111]. Este consta de dúas lentes: **obxectivo** e **ocular**. A lente obxectivo recibe os raios procedentes de obxectos afastados que, dada a súa distancia, serán practicamente paralelos. Tras refractarse, proporcionan unha imaxe nun punto moi próximo ao foco.



Se colocamos a lente ocular de modo que o seu foco coincida coa posición en que aparece a imaxe do obxecto afastado producida polo obxectivo, os seus raios atravesarán esta última lente e chegarán ao ollo do observador case paralelos. Deste modo o observador pode construír a **imaxe virtual** do obxecto afastado. Polo tanto, no telescopio refractor as lentes obxectivo e ocular deben estar separadas unha distancia igual á suma dos seus focos (en valor absoluto).

Unha característica que determina a calidade dun telescopio é o seu **aumento angular** (M), que representa o cociente do ángulo subtendido no ollo pola imaxe final I' e o ángulo subtendido no ollo no polo propio obxecto. Para raios moi próximos ao eixe das lentes (aproximación paraxial), os ángulos coinciden coa súa tanxente [figura 8.111].

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\tan \theta'}{\tan \theta} = \frac{-y'/f'_{Oc}}{y'/f'_{Ob}} = -\frac{f'_{Ob}(\text{obxectivo})}{f'_{Oc}(\text{ocular})}$$

Para obter moitos aumentos é necesario utilizar lentes obxectivo cun foco moi grande, o que supón graves problemas de construción e de colocación no telescopio refractor. Para evitalo deseñáronse **telescopios reflectores** [figura 8.112], que substitúen a lente obxectivo por un espello cóncavo. Pero moitos aumentos serven de pouco se o obxectivo é pequeno. O número máximo de aumentos recomendable é 2,5 veces o diámetro do obxectivo, expresado en milímetros. Para un telescopio de 8 cm de diámetro o número máximo de aumentos será $80 \cdot 2,5 = 200$ aumentos.

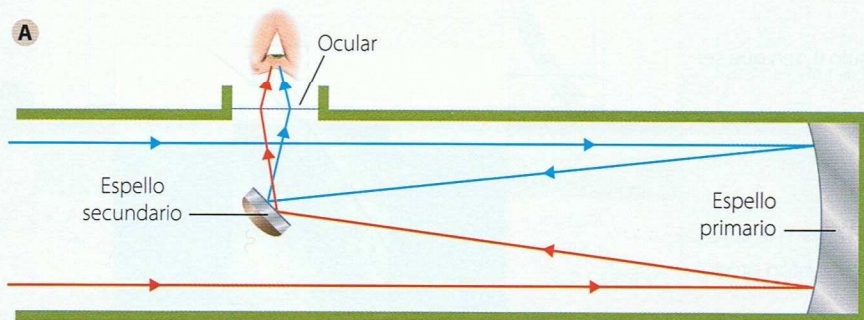


Figura 8.111. Telescopio refractor. O fundamento dos telescopios é que o obxectivo é capaz de reunir máis luz da que recibe o ollo humano, pois a súa superficie é maior. Despois, esa luz concéntrase e sae polo ocular.

Figura 8.112. Telescopio reflector. Os raios paralelos procedentes dun obxecto afastado reflíctense no espello cóncavo (primario) e, concentrados, reflíctense nun espello plano (secundario), inclinado 45° , tras o cal converxen nun punto que resulta ser o foco da lente ocular.

