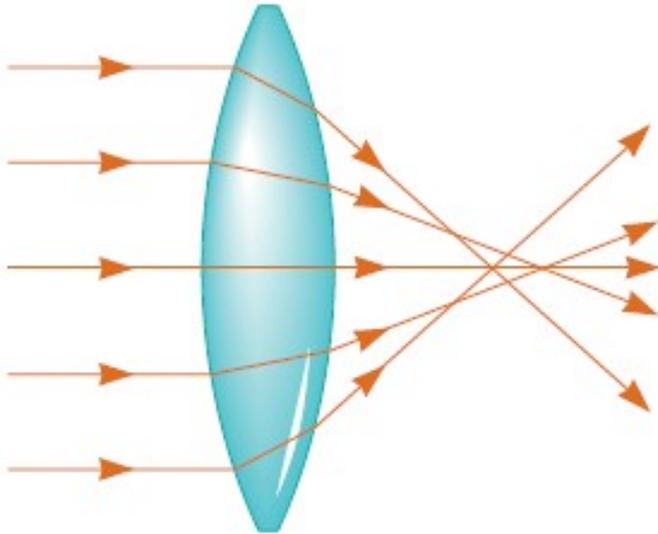


05.3-ÓPTICA GEOMÉTRICA II



¿Cómo funcionan las lentes de aumento? ¿A qué distancia del objeto que se examina ofrecen la visión más nítida?

ABERRACIONES



Aberración esférica: los focos de los rayos alejados del eje principal de una lente esférica son diferentes de los focos de rayos con la misma longitud de onda que pasan cerca del eje. Los rayos que pasan a través de puntos cercanos al centro de la lente forman una imagen más lejos de la lente que los rayos que pasan a través de puntos cerca de los bordes.

Fórmula de constructor de lentes usa aproximación de ángulos pequeños: en realidad rayos paralelos al eje producen imágenes cuya posición varía ligeramente con la distancia del eje, en lugar de formarse en un punto, se forman en una región finita.

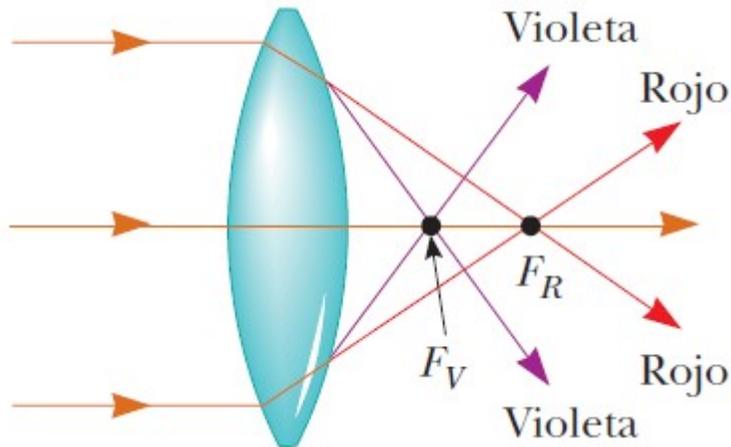
Análisis de lentes supone que los rayos forman ángulos pequeños con el eje principal y que las lentes son delgadas.

En este modelo simple, todos los rayos que salen de una fuente puntual se enfocan en un solo punto, produciendo una imagen nítida.

Desviaciones de imágenes reales del ideal pronosticado en modelo simplificado, se conocen como **aberraciones**.

Aberraciones esféricas: los focos de los rayos alejados del eje principal de una lente esférica son diferentes de los focos de rayos con la misma longitud de onda que pasan cerca del eje.

ABERRACIONES



Aberración cromática causada por una lente convergente. Los rayos de diferentes longitudes de onda se enfocan en puntos diferentes

Aberraciones cromáticas

Dispersión: índice de refracción de un material varía en función λ .

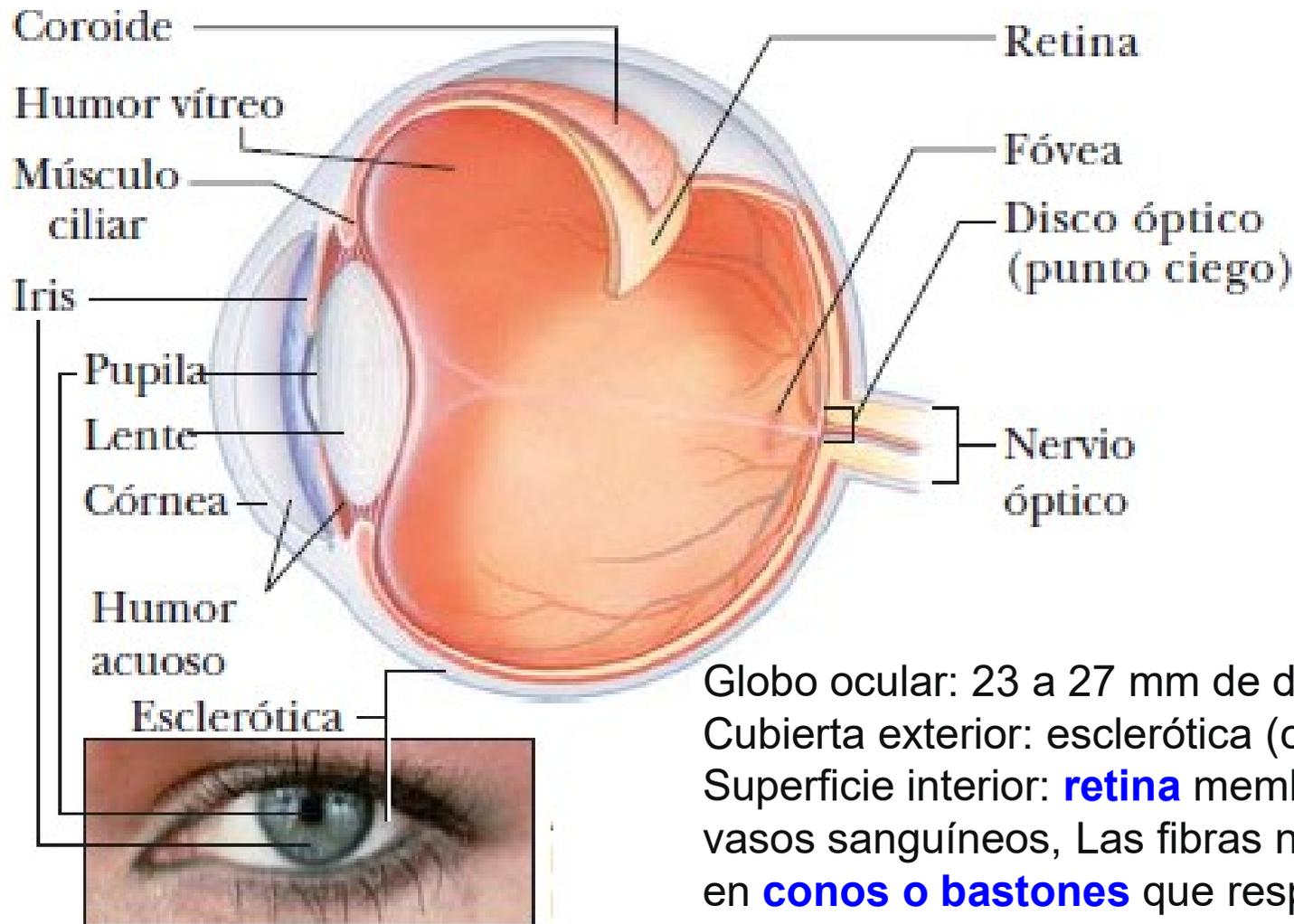
Cuando pasa luz blanca a través de una lente, los rayos violetas se refractan más que los rojos.

Variación de la distancia focal según λ se origina imagen borrosa, llamada **aberración cromática**.

Para una lente divergente también da como resultado una distancia focal más corta para la luz violeta que para la luz roja, pero en la cara frontal de la lente.

La aberración cromática puede reducirse de manera significativa al combinar una lente convergente fabricada con un clase de vidrio y con una lente divergente hecha con otra clase de vidrio.

EL OJO HUMANO



Globo ocular: 23 a 27 mm de diámetro.
Cubierta exterior: esclerótica (casi opaca).
Superficie interior: **retina** membrana con nervios y vasos sanguíneos, Las fibras nerviosos terminan en **conos o bastones** que responden a la luz generando impulsos nerviosos.

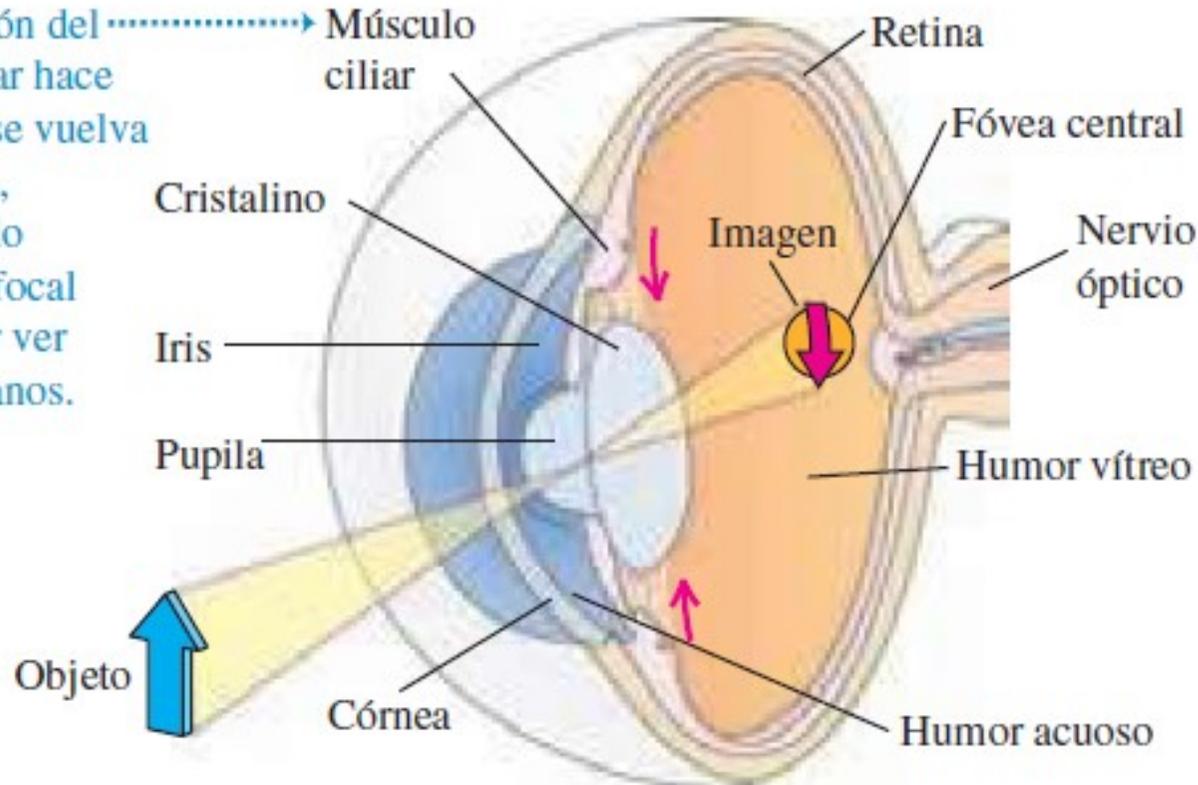
Máxima sensibilidad en la **mácula o mancha amarilla** (en la retina), su parte central: **fóvea** (que sólo tiene conos).

El ojo gira de modo que la imagen se forme sobre la fóvea.

EL OJO HUMANO

a) Diagrama del ojo

La contracción del músculo ciliar hace que la lente se vuelva más convexa, disminuyendo su distancia focal para permitir ver objetos cercanos.



El ojo es de forma casi esférica y mide aprox. 2,5 cm de diámetro. La parte frontal tiene una curvatura un poco más marcada y está cubierta por una membrana dura y transparente llamada **córnea**.

La región que está detrás de la córnea contiene un líquido llamado **humor acuoso**. En seguida viene el **cristalino**, una cápsula que contiene una gelatina fibrosa, dura en el centro y cada vez más suave hacia la periferia.

La lente del cristalino se mantiene en su lugar gracias a ligamentos que lo sujetan al **músculo ciliar**, el cual lo circunda. Detrás del cristalino, el ojo está lleno de una gelatina acuosa algo viscosa conocida como **humor vítreo**

EL OJO HUMANO

Los índices de refracción del humor acuoso como del humor vítreo son de alrededor de 1,336, casi iguales al del agua.

Aunque el cristalino no es homogéneo, tiene un índice promedio de 1,437, no muy diferente de los índices de los humores acuoso y vítreo.

En consecuencia, la mayor parte de la refracción de la luz que penetra en el ojo ocurre en la superficie externa de la córnea.

La refracción en la córnea y en las superficies del cristalino produce una imagen real del objeto que se mira. Esta imagen se forma en la **retina** (sensible a la luz) que recubre la superficie interna posterior del ojo.

La retina desempeña el mismo papel que la película en una cámara.

Los bastones y conos de la retina actúan como una serie de fotoceldas en miniatura; perciben la imagen y la transmiten a través del nervio óptico hasta el cerebro.

La mayor agudeza visual se da en una región central pequeña llamada **fóvea central**, de alrededor de 0,25 mm de diámetro.

En frente del cristalino está el **iris**, que contiene una abertura de diámetro variable llamada **pupila**, la cual se abre y se cierra para adaptarse a la intensidad cambiante de la luz.

También los receptores de la retina tienen mecanismos de adaptación a la intensidad.

Para que un objeto se vea con nitidez, la imagen se debe formar exactamente donde se encuentra la retina. El ojo se ajusta a las diferentes distancias del objeto **s** modificando la distancia focal **f** de su lente; la distancia entre el cristalino y la retina, que corresponde a **s'**, no cambia.

EL OJO HUMANO

En el ojo normal, un objeto situado en el infinito está enfocado nítidamente cuando el músculo ciliar se encuentra relajado.

Para permitir la formación de imágenes nítidas de objetos más cercanos en la retina, aumenta la tensión del músculo ciliar que rodea el cristalino, se contrae el músculo ciliar, se arquea el cristalino, y se disminuyen los radios de curvatura de sus superficies; esto reduce la distancia focal. Dicho proceso se llama **acomodación**.

Los extremos del rango donde es posible la visión definida se conocen como el **punto lejano** y el **punto cercano (o próximo)** del ojo. El punto lejano del ojo normal se encuentra en el infinito. La posición del punto cercano depende del grado en que el músculo ciliar puede aumentar la curvatura del cristalino.

El ámbito de acomodación disminuye gradualmente con la edad, porque el cristalino crece a lo largo de la vida de los seres humanos (es alrededor de un 50% más grande a la edad de 60 años que a los 20) y los músculos ciliares son menos capaces de deformar un cristalino más grande.

Por tal razón, el punto cercano se aleja poco a poco a medida que uno envejece.

El alejamiento del punto cercano recibe el nombre de **presbicia**.

La tabla muestra la posición aproximada del punto cercano en una persona promedio de diversas edades.

Edad (años)	Punto cercano (cm)
10	7
20	10
30	14
40	22
50	40
60	200

EL OJO – Defectos de la visión

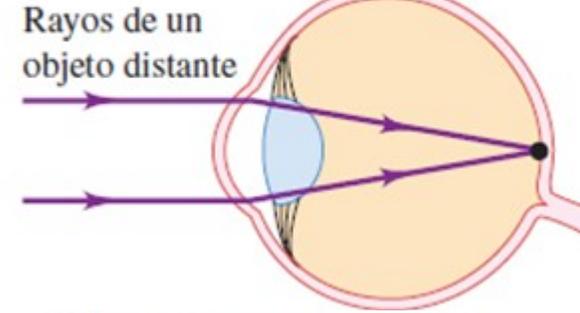
Varios defectos comunes de la visión son resultado de relaciones de distancias incorrectas en el ojo. Un ojo **normal** forma en la retina una imagen de un objeto situado en el infinito cuando el ojo se encuentra relajado (figura a).

En el ojo **miope** (corto de vista), el globo ocular es excesivamente largo de adelante hacia atrás, en comparación con el radio de curvatura de la córnea (o la córnea presenta una curvatura demasiado pronunciada), y los rayos provenientes de un objeto situado en el infinito se enfocan delante de la retina (figura b). El objeto más distante del cual se puede formar una imagen en la retina está entonces más próximo que el infinito.

En el ojo **hipermétrope** (problemas de visión a distancias cortas), el globo ocular es demasiado corto o la córnea no tiene la curvatura suficiente, por lo que la imagen de un objeto infinitamente distante se forma detrás de la retina (figura c).

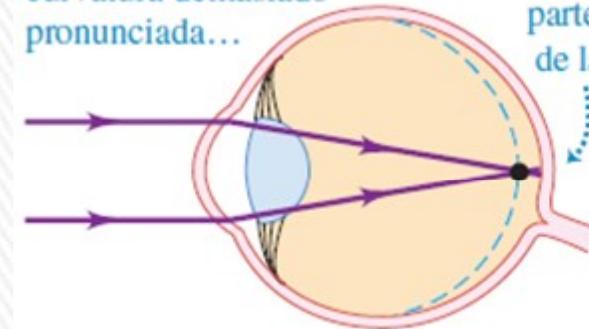
El ojo miope produce demasiada convergencia en un haz de rayos paralelos como para formar una imagen en la retina; en el ojo hipermétrope, la convergencia es insuficiente.

a) Ojo normal



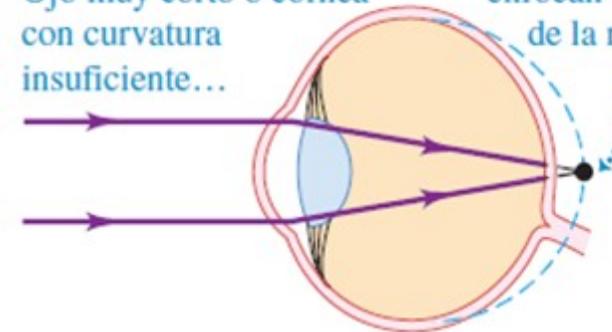
b) Ojo miope (corto de vista)

Ojo muy largo o córnea con curvatura demasiado pronunciada...
...los rayos se enfocan en la parte frontal de la retina.



c) Ojo hipermétrope (problemas de visión a distancias cortas)

Ojo muy corto o córnea con curvatura insuficiente...
...los rayos se enfocan detrás de la retina.



EL OJO – Defectos de la visión

Todos estos defectos se remedian con el uso de lentes correctivas (anteojos o lentes de contacto).

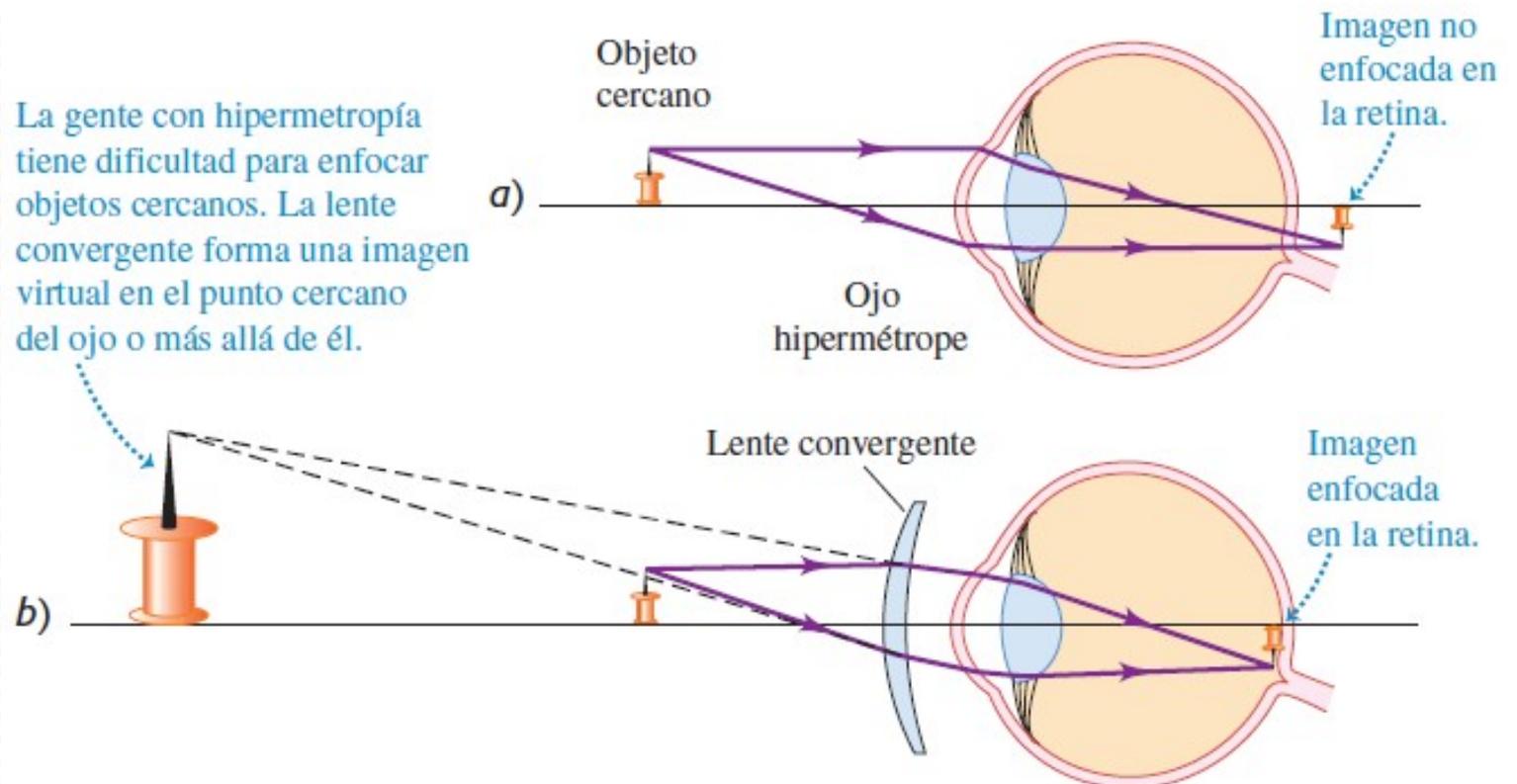
El punto cercano de un ojo tanto **préscita como hipermétrope** está más alejado del ojo que lo normal.

Para ver claramente un objeto a la distancia normal de lectura (que ordinariamente se supone de 25 cm), se necesita una lente que forme una imagen virtual del objeto en el punto cercano o más allá de él.

Esto se consigue por medio de una **lente convergente** (positiva), como se muestra en la figura

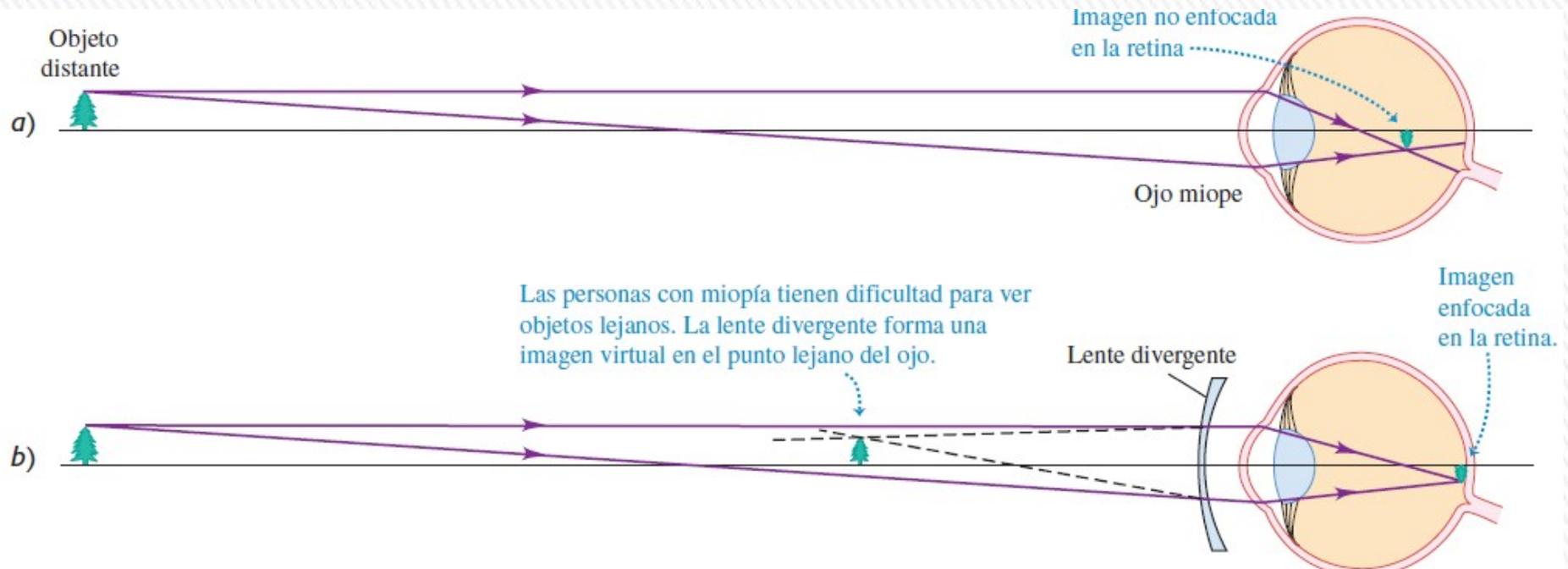
La lente aleja efectivamente el objeto del ojo, hasta un punto donde se puede formar una imagen nítida en la retina.

La gente con hipermetropía tiene dificultad para enfocar objetos cercanos. La lente convergente forma una imagen virtual en el punto cercano del ojo o más allá de él.



EL OJO – Defectos de la visión

Para corregir el **ojo miope** se utiliza una **lente divergente** (negativa) para llevar la imagen más cerca del ojo que el objeto real, como se muestra en la figura.



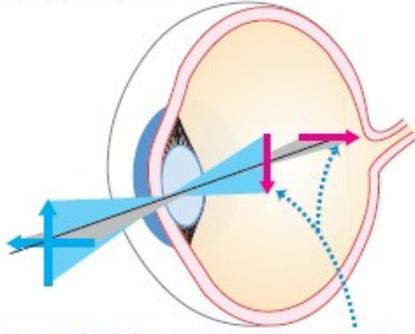
El **astigmatismo** es un tipo de defecto diferente, en el cual la superficie de la córnea no es esférica, sino que tiene una curvatura más pronunciada en un plano que en otro.

En consecuencia, tal vez la imagen de las líneas horizontales se forma en un plano diferente que la imagen de las líneas verticales.

El astigmatismo puede hacer imposible, por ejemplo, enfocar con claridad las barras horizontales y verticales de una ventana al mismo tiempo.

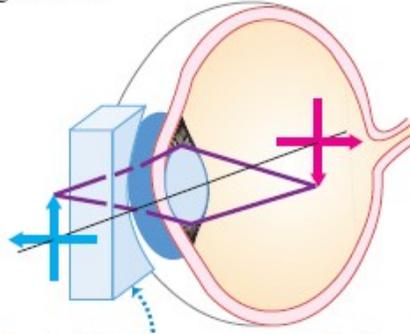
EL OJO – Defectos de la visión

a) La imagen de las líneas verticales se forma delante de la retina.



La forma del globo ocular o del cristalino hace que los elementos verticales y horizontales se enfoquen a diferentes distancias.

b) Una lente cilíndrica corrige el astigmatismo.



Esta lente cilíndrica se curva en la dirección vertical pero no en la horizontal, cambiando la distancia focal de los elementos verticales.

El astigmatismo se corrige mediante una lente de superficie cilíndrica. Por ejemplo, suponga que la curvatura de la córnea en un plano horizontal es la correcta para enfocar los rayos provenientes del infinito en la retina, pero la

curvatura en el plano vertical es demasiado grande para formar una imagen nítida en la retina.

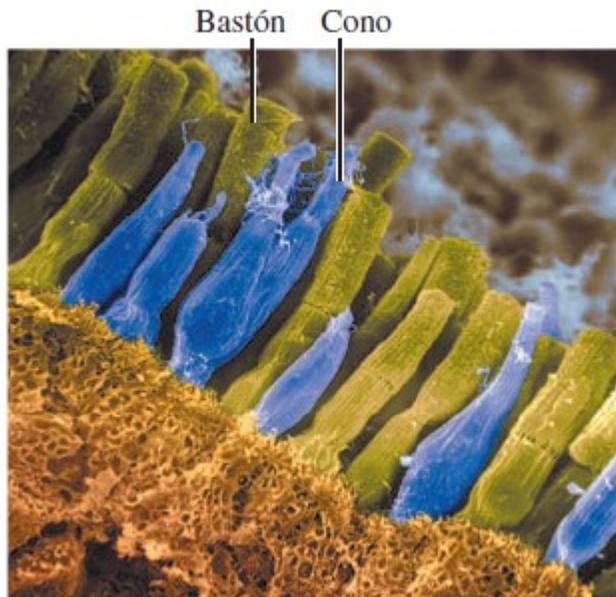
Cuando una lente cilíndrica con su eje horizontal se coloca delante del ojo, la lente no altera los rayos en un plano horizontal, pero la divergencia adicional de los rayos en un plano vertical hace que estos se enfoquen nítidamente sobre la retina (figura b).

Las lentes para corregir la visión se describen habitualmente en términos de su potencia, la cual se define como el recíproco de la distancia focal expresada en metros. La unidad de potencia es la **dioptría**.

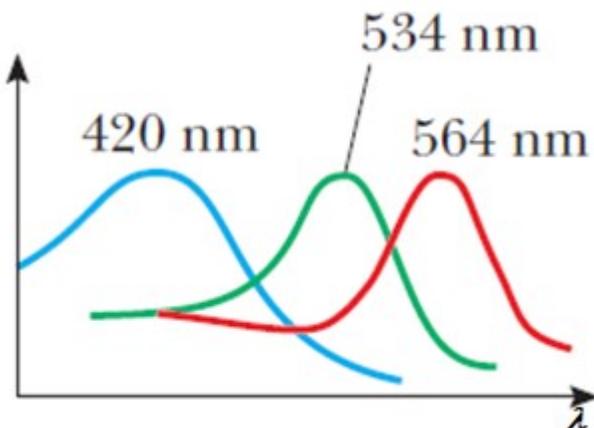
De esta manera, una lente con $f = 0,50$ m tiene una potencia de 2,0 dioptrías, $f = -0,25$ corresponde a -4,0 dioptrías, y así sucesivamente.

Los números indicados en una receta de anteojos por lo regular son potencias son expresadas en dioptrías.

EL OJO HUMANO



Micrografía de barrido electrónico que muestra bastones y conos de la retina con colores distintos



La retina está cubierta con dos tipos de células sensibles a la luz, llamados **conos y bastones**.

Los bastones no son sensibles al color, pero son más sensibles a la luz que los conos.

Son además, **responsables de la *visión escotópica o visión oscura*.**

Los bastones se extienden por toda la retina y permiten una buena visión periférica para todos los niveles de iluminación y detección de movimiento en la oscuridad.

Los conos se concentran en la fóvea.

Estas células son sensibles a diferentes longitudes de onda de la luz.

Los tres tipos de células sensibles al color; se conocen como conos rojos, verdes y azules, debido al máximo de la escala cromática a la cual responden.

La figura muestra la sensibilidad al color aproximada de los tres tipos de conos presentes en la retina.

EL OJO HUMANO

Si se estimulan simultáneamente los conos rojos y los verdes (como ocurriría si fueran iluminados por una luz amarilla), el cerebro interpreta lo que se está viendo como color amarillo.

Si todos los tipos de conos se estimulan mediante rayos independientes de color rojo, azul y verde, aparece el color blanco.

Si los tres tipos de conos se estimulan por luz que contiene *todos los colores*, como es por ejemplo la luz solar, de nuevo se ve luz blanca.

Las televisiones y los monitores de computadora aprovechan esta ilusión visual utilizando solo puntos rojos, verdes y azules en la pantalla.

Con combinaciones específicas de la brillantez en estos tres colores primarios, se logra que los ojos vean cualquiera de los colores del arco iris.

Por tanto, el limón amarillo que observa en un anuncio de televisión, no es realmente amarillo, ¡es rojo y verde!

El papel impreso está constituido por fibras minúsculas aplastadas y traslúcidas que dispersan la luz en todas las direcciones; la mezcla resultante de colores parece blanca para el ojo.

La nieve, las nubes y las canas no son realmente blancas.

De hecho, no existe un pigmento blanco.

La apariencia de estas cosas es una consecuencia de la dispersión de luz que contiene todos los colores y que el cerebro interpreta como blanco.

EL OJO



Se ha descubierto que en los seres humanos y otros mamíferos el cristalino y el músculo ciliar son sólo parte de varios mecanismos de enfoque utilizados por los animales.

Las aves pueden cambiar la forma no sólo de su cristalino, sino también de la superficie de la córnea.

En los animales acuáticos la superficie de la córnea no es muy útil para enfocar porque su índice de refracción es similar al del agua.

Por lo tanto, el enfoque se produce completamente por la lente, que es casi esférica.

En el enfoque de los peces se emplea un músculo para mover el cristalino hacia adentro o hacia afuera. Las ballenas y los delfines logran el mismo efecto mediante el llenado o vaciado de una cámara de fluido, ubicada detrás del cristalino para moverlo hacia adentro o hacia afuera.

AGUDEZA VISUAL

Ojo humano normal distingue apenas dos objetos puntiformes bien iluminados con una separación angular de $\theta_0 \approx 5 \times 10^{-4} \text{ rad} \approx 0,03^\circ$, representa la separación angular mínima, denominada **agudeza visual**.

Para observar detalles finos, una persona mantiene un objeto tan cerca de sus ojos como le es posible, o hasta el **punto próximo**: el punto más próximo en el que el ojo se puede enfocar confortablemente.

Para un adulto joven normal, la distancia x_n al punto próximo es de unos 0,25 m.

En el punto próximo, dos puntos con una pequeña separación y entre ambos tienen una separación angular suficientemente pequeña para que $\theta \approx \tan(\theta) \approx y/x_n$ sea una buena aproximación.

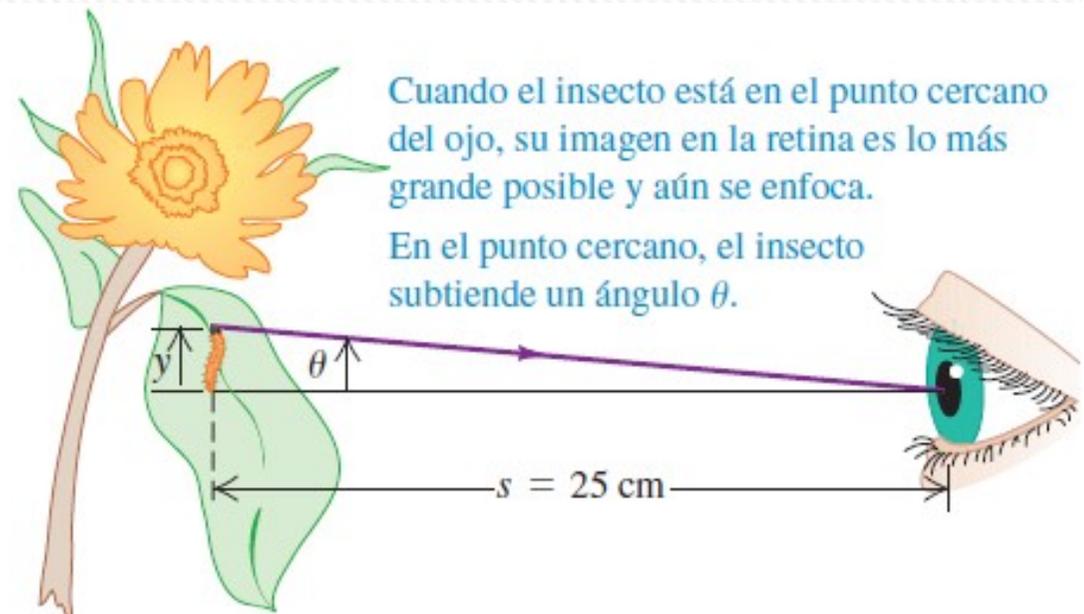
Si $\theta \approx \theta_0 = 5 \times 10^{-4} \text{ rad}$, entonces:

$$y = x_n \theta_0 = (0,25 \text{ m}) 5 \times 10^{-4} \text{ rad} = 1,25 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,125 \text{ mm}$$

(representa el tamaño más pequeño de un objeto que puede observarse a simple vista).

LA LUPA O LENTE DE AUMENTO

El tamaño aparente de un objeto está determinado por el tamaño de su imagen en la retina. En el ojo sin aditamentos, este tamaño depende del ángulo θ que subtende el objeto en el ojo, conocido como su **tamaño angular**.



Para observar de cerca un objeto pequeño, como un insecto o un cristal, lo acercamos al ojo para que el ángulo subtendido y la imagen retiniana sean lo más grandes posible.

Sin embargo, el ojo no puede enfocar nítidamente objetos más próximos que el punto cercano; por lo tanto, el tamaño angular de un objeto es máximo (es decir, subtende el ángulo de visión más grande posible) cuando se encuentra en el punto cercano.

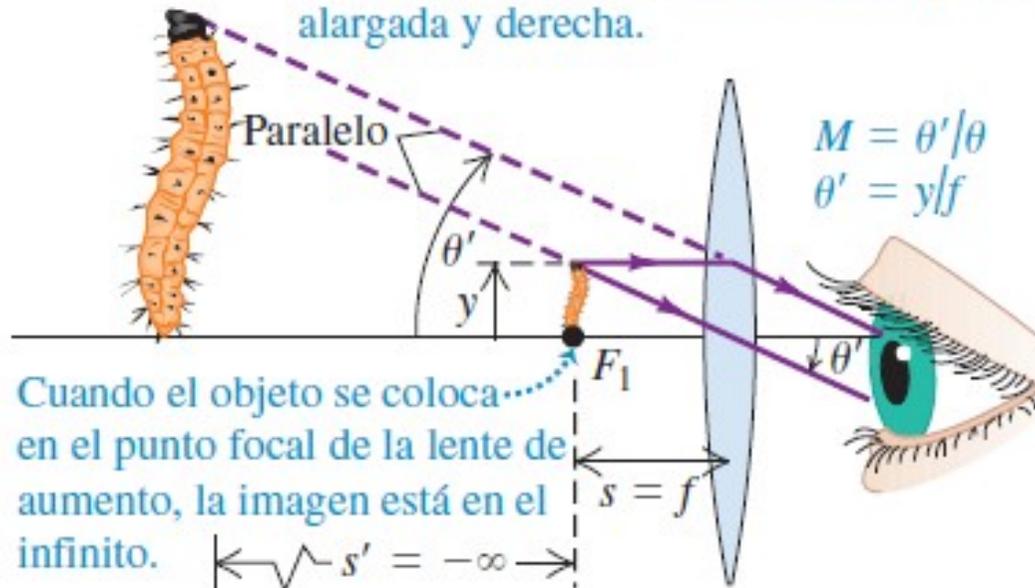
En el siguiente análisis supondremos un observador promedio, para quien el punto cercano está a 25 cm del ojo.

En esta figura, el objeto está colocado en el punto cercano y subtende un ángulo θ en el ojo, en donde: $y = \text{tg}(\theta) \cdot s = \text{tg}(\theta) \cdot (25,0 \text{ cm})$

LA LUPA OLENTE DE AUMENTO

b)

Con la lente de aumento, el insecto puede colocarse más cerca que el punto cercano. La lente de aumento crea una imagen virtual alargada y derecha.



Una lente convergente permite formar una imagen virtual más grande y más alejada del ojo que el objeto mismo, como se muestra en la figura.

En estas condiciones, es posible acercar más el objeto al ojo, y el tamaño angular de la imagen puede ser considerablemente más grande que el tamaño angular del objeto a 25 cm sin la lente.

Una lente que se utiliza de este modo recibe el nombre de **lente de aumento**, también conocida como **vidrio de aumento** o **lupa simple**.

La imagen virtual se ve con máxima comodidad cuando se encuentra en el infinito, de modo que el músculo ciliar del ojo esté relajado, lo cual significa que el objeto se coloca en el punto focal F_1 de la lente de aumento, lo cual supondremos en el desarrollo. *En esa ubicación, la lente forma una imagen virtual, ampliada y vertical.*

En esta figura una lente de aumento delante del ojo forma una imagen en el infinito, y el ángulo subtendido por la lente de aumento es θ' : $y = \text{tg}(\theta') \cdot f$

LA LUPA O LENTE DE AUMENTO

La utilidad de la lente de aumento queda expresada por la proporción del ángulo θ' (con la lente de aumento) con respecto al ángulo θ (sin la lente de aumento).

Esta proporción se conoce como el **aumento angular M**:

$$M = \frac{\theta'}{\theta}$$

Para determinar M, suponemos que los ángulos son lo suficientemente pequeños como para que cada ángulo (en radianes) sea igual a su seno y a su tangente.

De acuerdo a las figuras tenemos que:

$$y = \text{tg}(\theta) \cdot s = \text{tg}(\theta) \cdot (25,0 \text{ cm}) \cong \theta \cdot 25,0 \text{ cm} \quad \text{o que: } \theta \cong \frac{y}{25,0 \text{ cm}}$$

$$y = \text{tg}(\theta') \cdot f \cong \theta' \cdot f \quad \text{o que: } \theta' \cong \frac{y}{f}$$

Este M_{\min} es el aumento mínimo que corresponde al objeto colocado en el foco y la imagen en el infinito, f en cm

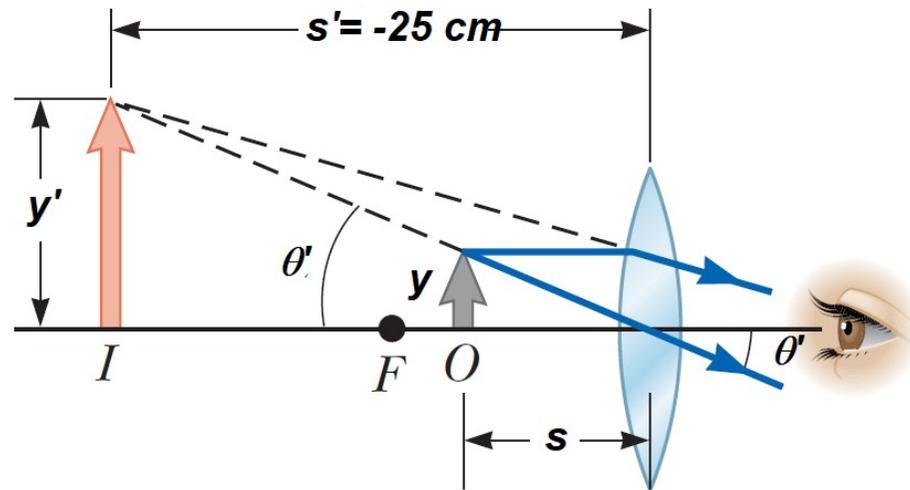
$$M_{\min} = \frac{25,0 \text{ cm}}{f}$$

Para el caso donde la lente se sostiene cerca del ojo, la amplificación angular es un máxima cuando la imagen formada por la lente está en el punto cercano del ojo, que como dijimos estamos suponiendo que es igual a 25,0 cm.

Si tomamos entonces que la imagen se forme en el punto cercano, y no en infinito tendremos que imponer que $s' = -25,0 \text{ cm}$ y debemos hallar el valor de s para que esto suceda (ya que el objeto no lo colocamos en el foco)



LA LUPA O LENTE DE AUMENTO



Por la ecuación de las lentes delgadas:

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

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

$$s = \frac{s' \cdot f}{s' - f} = \frac{(-25,0) \cdot f}{(-25,0) - f} = \frac{25,0 \cdot f}{25,0 + f}$$

Pero ahora tendremos que: $\theta' \cong \frac{y}{s}$

$$M_{max} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{y}{s}}{\frac{y}{25,0}} = \frac{25,0}{s} = \frac{25,0}{\frac{25,0 \cdot f}{25,0 + f}} = \frac{25,0 + f}{f} = 1 + \frac{25,0}{f}$$

$$M_{max} = 1 + \frac{25,0 \text{ cm}}{f}$$

Este M_{max} es el aumento máximo que corresponde a la imagen formada en el punto cercano o próximo de ojo (que se supone a los 25,0 cm)

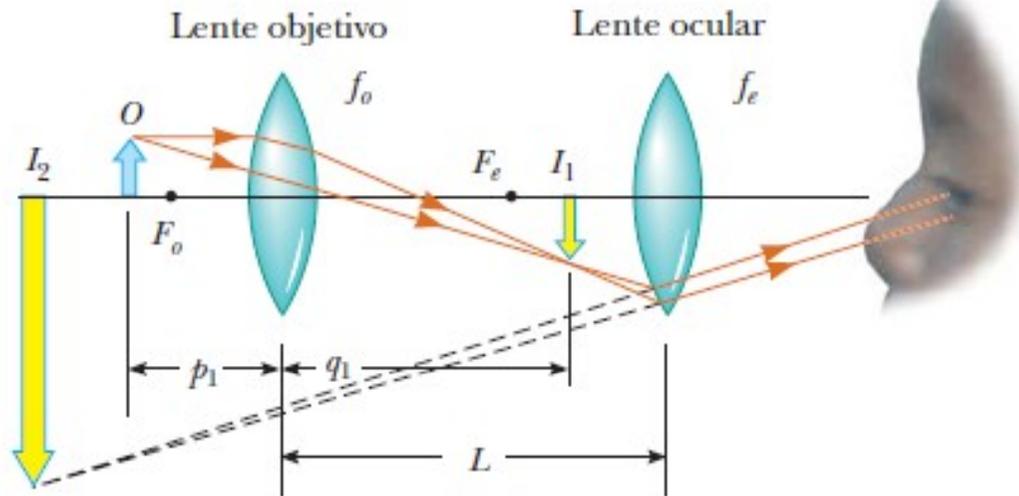
Parecería que es posible agrandar el aumento angular tanto como se desee reduciendo la distancia focal f . De hecho, las aberraciones de una lente simple biconvexa establecen un límite de M entre aproximadamente 3X y 4X.

Si se corrigen estas aberraciones, se puede alcanzar un aumento angular de hasta 20X.

Cuando se necesita un aumento aún mayor, por lo general se utiliza un microscopio compuesto.

MICROSCOPIO ÓPTICO

Una lupa o lente de aumento simple proporciona sólo una ayuda limitada en la inspección detallada de un objeto. Se logra una mayor amplificación combinando dos lentes en un dispositivo que se conoce como **microscopio compuesto**.



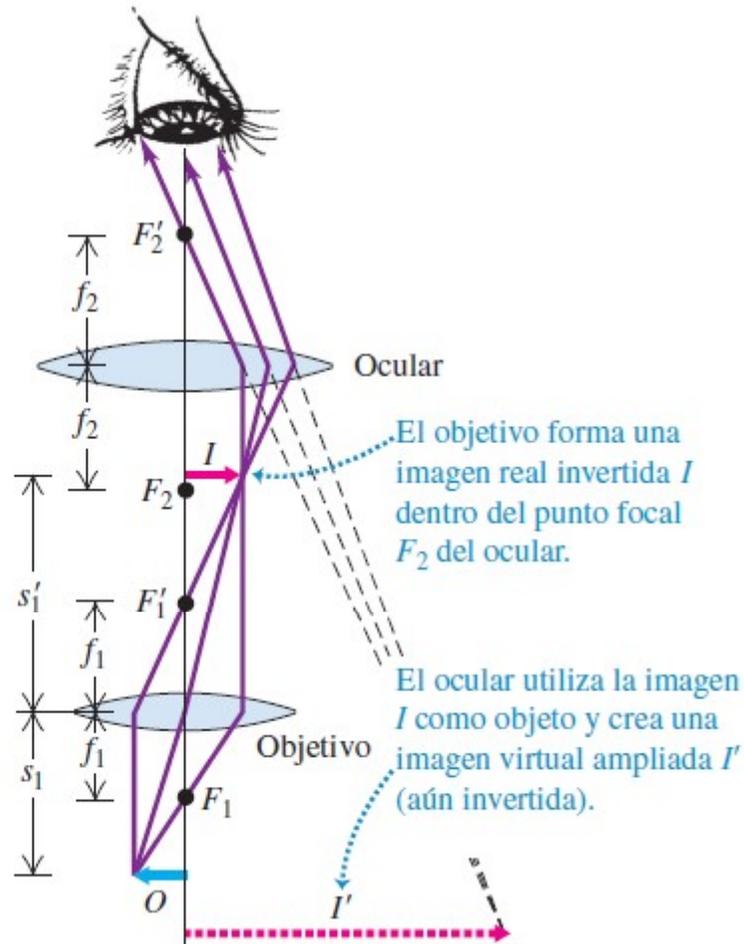
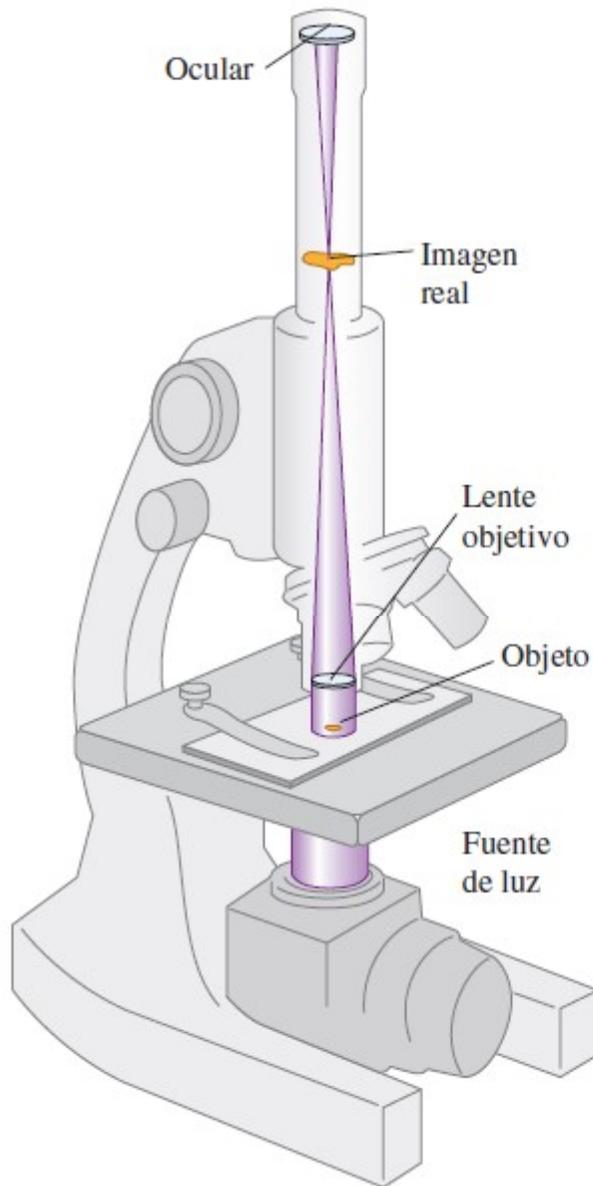
El microscopio compuesto está constituido por una lente, el **objetivo**, que tiene una distancia focal muy corta, menor a 1 cm, y una segunda lente, el **ocular**, que tiene una distancia focal de unos cuantos centímetros.

Las dos lentes están separadas una distancia L que es mucho mayor que las distancias focales de las lentes.

El objeto que se coloca justo por fuera del foco del objetivo forma una imagen real, invertida, que queda localizada en, o cerca, del foco del ocular.

El ocular, que sirve como una lente de aumento simple, produce una **imagen virtual ampliada de la imagen formado por el objetivo**.

MICROSCOPIO ÓPTICO



angular que la imagen real I tendría si se la viera sin el ocular.

$$m_1 = -\frac{s'_1}{s_1}$$

s_1 y s'_1 son las distancias de objeto y de imagen, respectivamente, correspondientes a la lente objetivo.

El aumento angular total del microscopio compuesto es el producto de dos factores: el aumento lateral m_1 del objetivo, que determina el tamaño lineal de la imagen real I ; y el aumento angular M_2 del ocular, que relaciona el tamaño angular de la imagen virtual vista a través del ocular con el tamaño

MICROSCOPIO ÓPTICO

En condiciones ordinarias el objeto está muy cerca del punto focal, y la distancia de imagen resultante s'_1 es muy grande en comparación con la distancia focal f_1 de la lente objetivo.

Por consiguiente, s_1 es aproximadamente igual a f_1 , y podemos escribir $m_1 = -s'_1 / f_1$, *incluso podemos aproximar: $s'_1 \cong L$*

La imagen real I está cerca del punto focal F_2 del ocular; por lo tanto, para obtener el aumento angular del ocular vale: $M_2 = (25 \text{ cm}) / f_2$, donde f_2 es la distancia focal del ocular (considerado como lente simple).

El aumento angular total M del microscopio compuesto (aparte de un signo negativo, que habitualmente se pasa por alto) es el producto de dos aumentos:

$$M = m_1 M_2 = \frac{(25 \text{ cm})s'_1}{f_1 f_2} \cong \frac{(25 \text{ cm})L}{f_1 f_2}$$

s'_1 o L , f_1 y f_2 se miden en centímetros.

La imagen final es invertida con respecto al objeto.

Por lo regular, los fabricantes de microscopios especifican los valores de m_1 y M_2 de los componentes del microscopio, en vez de las distancias focales del objetivo y del ocular.

Casi todos los microscopios ópticos tienen una “torreta” giratoria con tres o más objetivos de diferente distancia focal, con lo cual es posible ver el mismo objeto a diferentes aumentos.

MICROSCOPIO ÓPTICO

El microscopio ha extendido la visión del ser humano hasta el punto en que se pueden observar detalles antes desconocidos de objetos increíblemente pequeños. La capacidad de este instrumento se ha venido incrementando con técnicas mejoradas en el pulido de precisión de las lentes.

Una pregunta frecuente en relación con los microscopios es:

“¿si fuera uno extremadamente paciente y cuidadoso, sería posible construir un microscopio que pudiera hacer visible al ojo humano un átomo?”.

La respuesta es no, siempre que se utilice luz para iluminar el objeto.

La explicación es que, para que se vea un objeto bajo un microscopio óptico (que utiliza luz visible), debe ser por lo menos tan grande como la longitud de onda de la luz.

Como el diámetro de cualquier átomo es muchas veces menor que las longitudes de onda de la luz visible, los átomos deberán ser “vistos” mediante otro tipo de “microscopios”.



TELESCOPIOS

En el telescopio también la imagen formada por un objetivo se observa a través de un ocular. La diferencia fundamental es que el telescopio se utiliza para ver objetos grandes situados a enormes distancias, y el microscopio sirve para ver objetos pequeños muy cercanos.

Otra diferencia es que muchos telescopios utilizan como objetivo un espejo curvo, no una lente. En la figura siguiente se muestra un telescopio astronómico. Como este telescopio emplea una lente como objetivo, se le conoce como **telescopio de refracción o refractor**.

La lente objetivo forma una imagen real reducida I del objeto.

Esta imagen es el objeto para la lente ocular, la cual forma una imagen virtual ampliada de I .

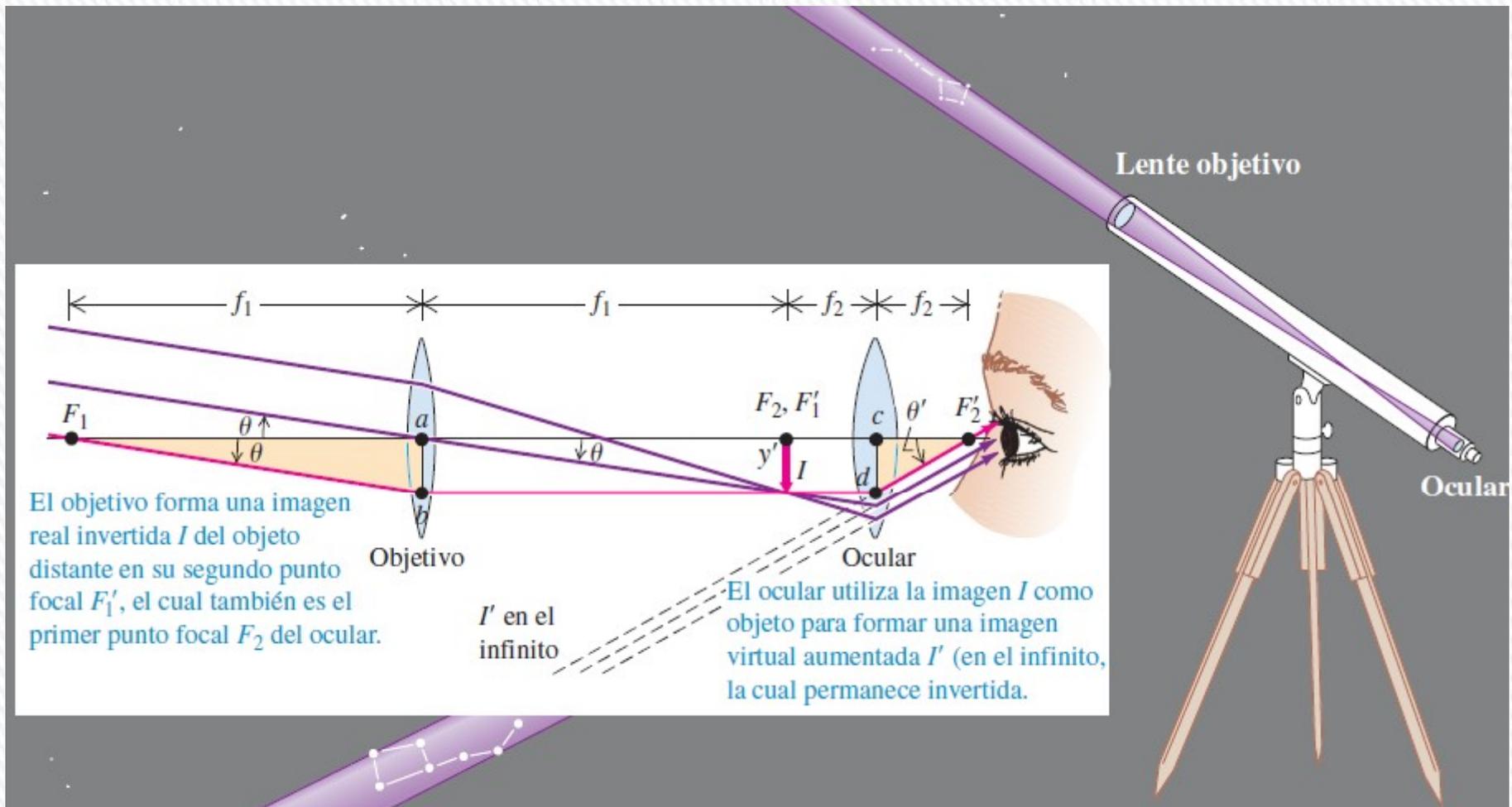
Los objetos que se observan con un telescopio por lo regular están tan lejos del instrumento, que la primera imagen I se forma casi exactamente en el segundo punto focal de la lente objetivo.

Si la imagen final I' formada por el ocular se encuentra en el infinito (para ser vista con la máxima comodidad por un ojo normal), la primera imagen también debe estar en el primer punto focal del ocular.

La distancia entre objetivo y ocular, que es la longitud del telescopio, es por ende la suma de las distancias focales del objetivo y del ocular: $f_1 + f_2$.

El aumento angular M de un telescopio se define como la razón del ángulo que subtiende en el ojo la imagen final I' con respecto al ángulo que subtiende el objeto en el ojo (sin aditamento).

TELESCOPIOS



Se puede probar que:

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{y'/f_2}{y'/f_1} = -\frac{f_1}{f_2} \quad (\text{aumento angular de un telescopio})$$

TELESCOPIOS

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{y'/f_2}{y'/f_1} = -\frac{f_1}{f_2} \quad \text{(aumento angular de un telescopio)}$$

El aumento angular M de un telescopio es igual a la proporción de la distancia focal del objetivo con respecto a la del ocular.

El signo negativo indica que la imagen final es invertida.

Para lograr un buen aumento angular, un telescopio debería tener una distancia focal de objetivo f_1 larga. Un objetivo de telescopio con distancia focal larga también debe tener un diámetro D grande, para evitar una imagen tenue de escasa intensidad.

En general, los telescopios no tienen objetivos intercambiables; en cambio, el aumento se modifica utilizando distintos oculares de diferente distancia focal f_2 .

Como en el caso del microscopio, los valores pequeños de f_2 proporcionan aumentos angulares más grandes.

En el **telescopio de reflexión** la lente objetivo se sustituye por un espejo cóncavo.

En los telescopios grandes este sistema ofrece muchas ventajas. Los espejos están inherentemente libres de aberraciones cromáticas (dependencia de la distancia focal con respecto a la longitud de onda), y las aberraciones esféricas (asociadas con la aproximación paraxial) son más fáciles de corregir que en el caso de las lentes.

En algunos casos la superficie reflectante es parabólica en vez de esférica.

No es necesario que el material del espejo sea transparente, y puede ser más rígido que una lente, que debe sostenerse solo por sus bordes.

TELESCOPIOS

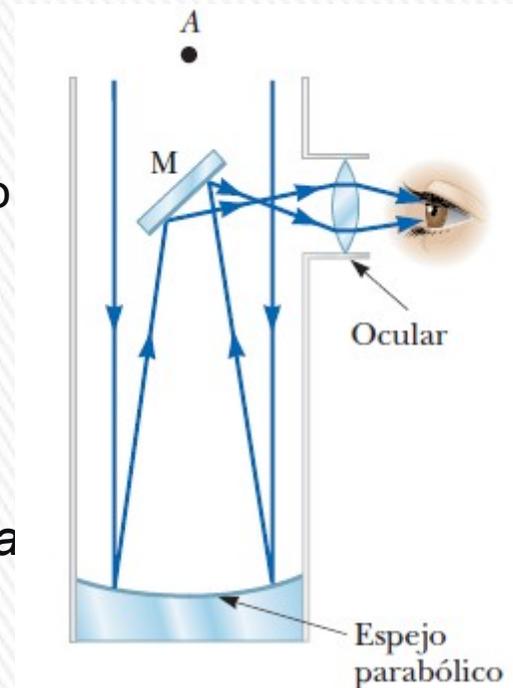
En algunas aplicaciones (por ejemplo, la observación de objetos relativamente cercanos como el Sol, la Luna o los planetas) la amplificación angular es importante. Sin embargo, las estrellas están tan alejadas que siempre aparecen como pequeños puntos de luz sin importar cuánta amplificación angular se use.

Los grandes telescopios de investigación utilizados para estudiar objetos muy distantes deben tener grandes diámetros para recoger tanta luz como sea posible. Es difícil y costoso fabricar lentes tan grandes para telescopios refractores. Además, el peso de las lentes grandes conduce a pandeo, que es otra fuente de aberración. Estos problemas se pueden superar en parte al sustituir el objetivo con un **espejo reflector cóncavo**, que usualmente tiene forma parabólica para evitar aberración esférica.

La figura muestra el diseño de un **telescopio reflector** típico.

Los rayos de luz entrantes pasan por el barril del telescopio y se reflejan mediante un espejo parabólico en la base. Estos rayos convergen hacia el punto *A* en la figura, donde se formaría una imagen sobre una placa fotográfica u otro detector.

Sin embargo, antes de que se forme esta imagen, un pequeño espejo plano en *M* refleja la luz hacia una abertura en el lado del tubo que pasa hacia un ocular.



TELESCOPIOS

Se dice que este diseño tiene un *foco newtoniano*, en honor a su desarrollador.

En el telescopio reflector, la luz nunca pasa a través de vidrio (excepto por el pequeño ocular).

Como resultado, virtualmente se eliminan los problemas asociados con la aberración cromática.

El telescopio de reflexión más grande del mundo, el Gran Telescopio de las Canarias, en las Islas Canarias, tiene un espejo objetivo de 10.4 m de diámetro total compuesto de 36 elementos reflectores hexagonales individuales.

En contraste, el telescopio refractor más grande del mundo, en el Observatorio Yerkes, en Williams Bay, Wisconsin, tiene un diámetro de sólo 1 m.

