

# Luz y materia

## Óptica introductoria

Dr. Guillermo Nery  
UPR Arecibo

A vibrant aurora borealis (northern lights) display in a starry night sky over a dark landscape. The aurora shows a spectrum of colors including red, orange, yellow, green, and blue. The sky is filled with numerous stars, and the foreground shows dark silhouettes of hills or mountains.

**La visión permite ver  
las luces en el cielo**



**La óptica permite entender la  
visión y fabricar el telescopio,  
el cual revoluciona la ciencia  
y nuestra visión de la realidad**

# Objetivos

- Vamos a conocer cómo funcionan los lentes, espejos, el ojo, cámaras y telescopios. Para eso necesitamos conocer acerca de
  - Cómo vemos
  - Cómo se comporta la luz cuando viaja
  - La refracción, cuando la luz pasa la frontera (la superficie) entre un material y otro
  - La refracción con un bloque y con un lente
  - Un objeto o una imagen se pueden considerar como hechos punto por punto
  - Cómo predecir dónde se forma una imagen
  - Aspectos adicionales de lentes combinados

# La luz y el ojo

Emisión, dispersión y la luz y el tacto en la retina



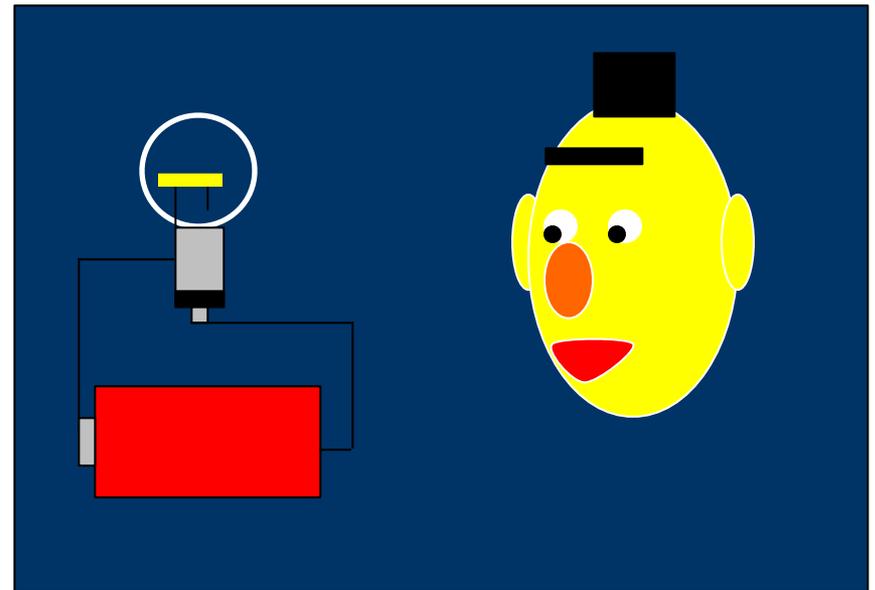
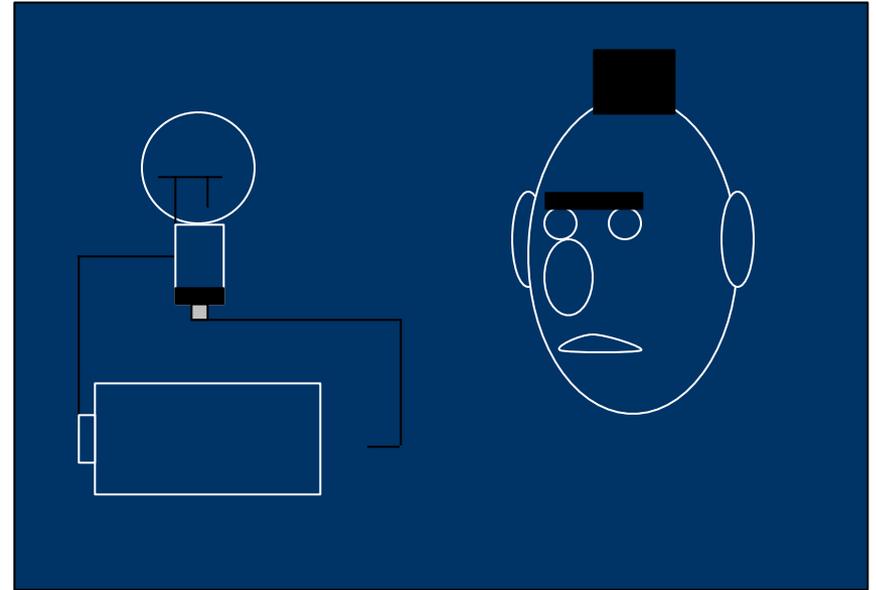
Dibuja

# Estimular al ojo

- Nos damos cuenta que al estimular al ojo tocándolo ***bien suavemente*** por su parte trasera, vemos algo o una luz opaca.
- Al mover el dedo hacia arriba, lo que vemos se mueve hacia abajo, y vice versa.
- Si estimulamos a la parte trasera del ojo vemos cosas, pero al revés.

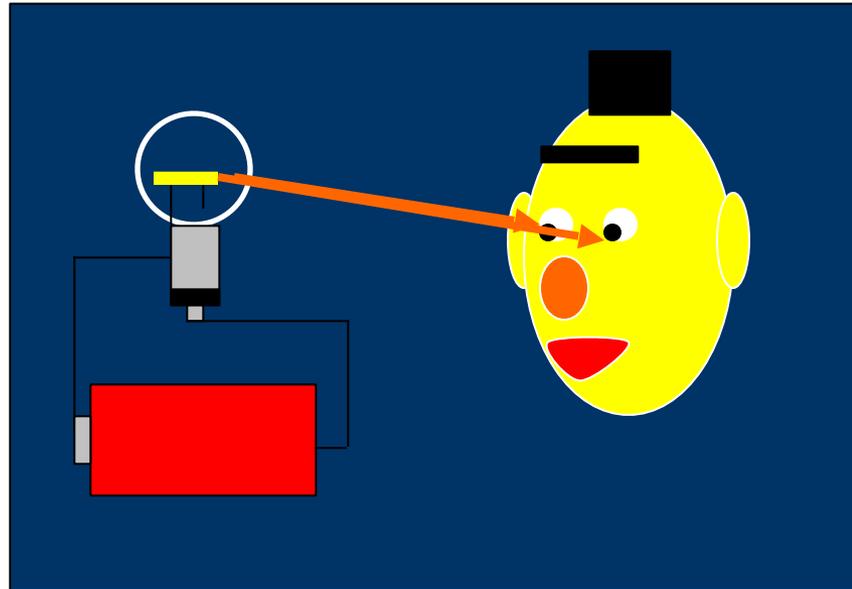
# PARA VER

- La bombilla apagada no produce luz, Beto no ve la bombilla y nosotros no vemos la cara de Beto.
- La bombilla encendida, produce luz, llega luz a la cara de Beto, él ve la bombilla, y nosotros vemos su cara

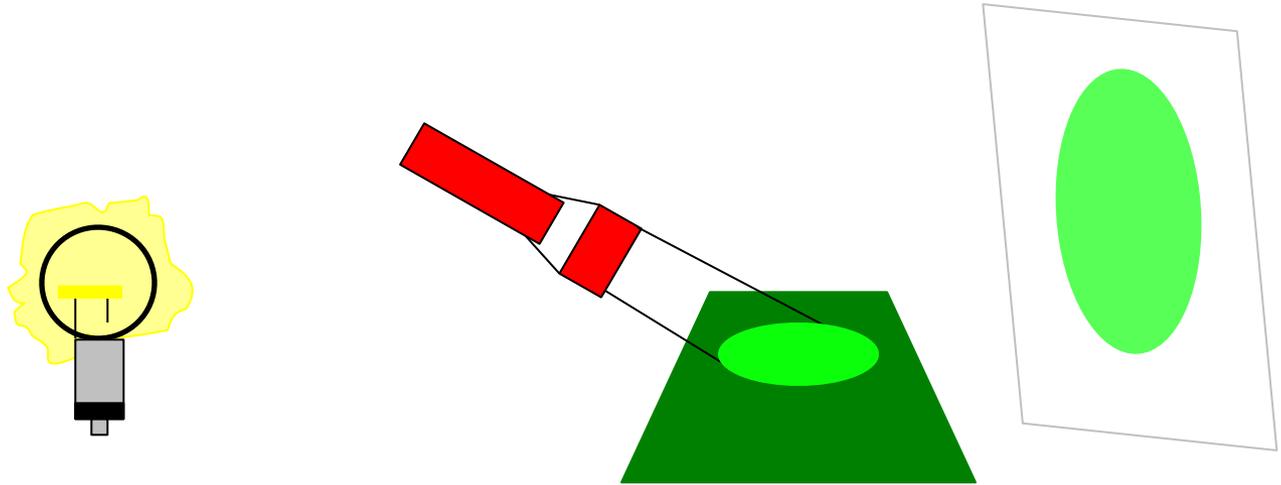


# Para ver

- El ojo ve un objeto ***cuando llega luz de ese objeto al ojo*** y estimula a la retina del ojo.



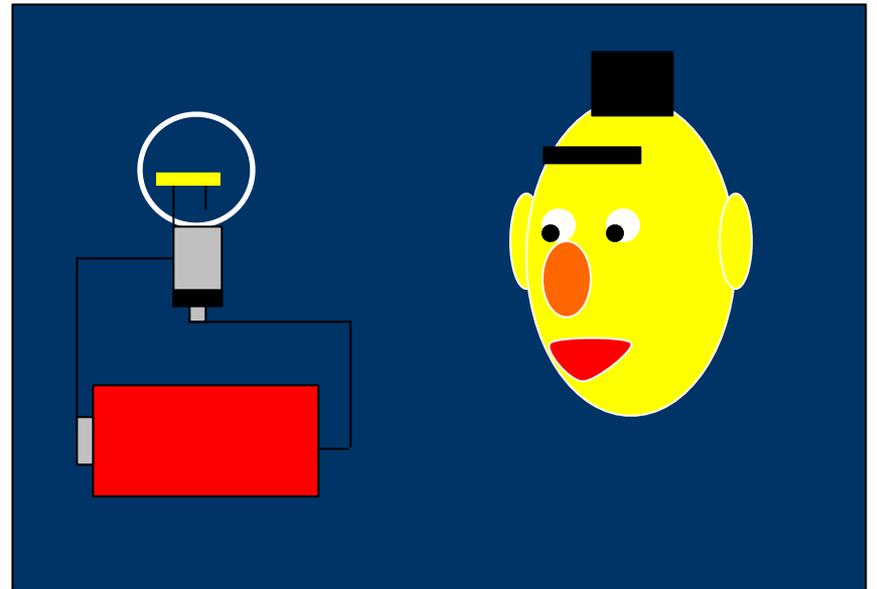
# Luz propia versus esparcida



- Una bombilla produce su propia luz, mediante la cual la vemos.
- Un objeto (un trozo de papel, en este caso) absorbe parte de la luz que le llega pero esparce otra parte. La luz que esparce es la que nos permite verlo.

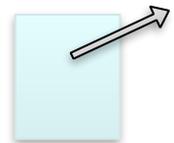
# PARA VER

- La bombilla encendida, produce luz, y esa luz llega a la pila, celda o batería, y porque la celda esparce algo de la luz que le llega, y algo de esa le llega al ojo, Beto ve la celda.



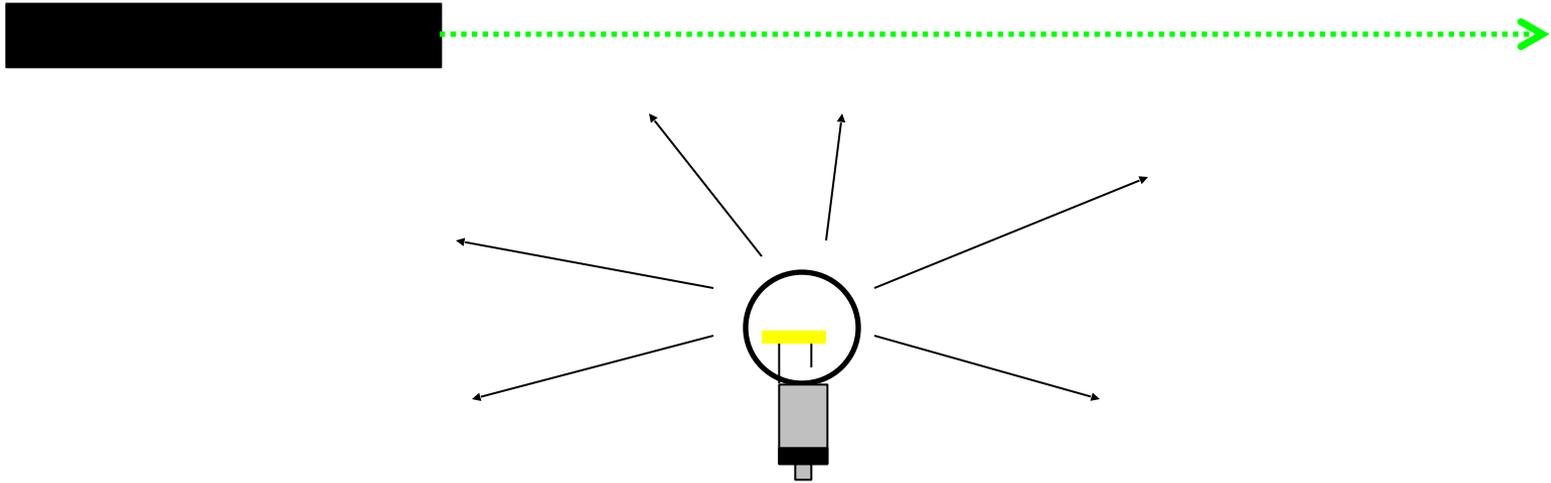
# Los rayos de luz

A menudo vemos a la luz llegando en línea recta



Dibuja

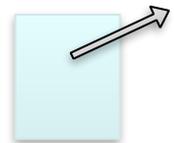
# Laser vs bombilla



- La luz viaja en línea recta.
- Ya que se ve la bombilla desde diferentes lugares, la luz que emite debe estar esparciéndose en líneas rectas en todas esas direcciones desde la bombilla.

# Cámara estenopeica & la imagen real

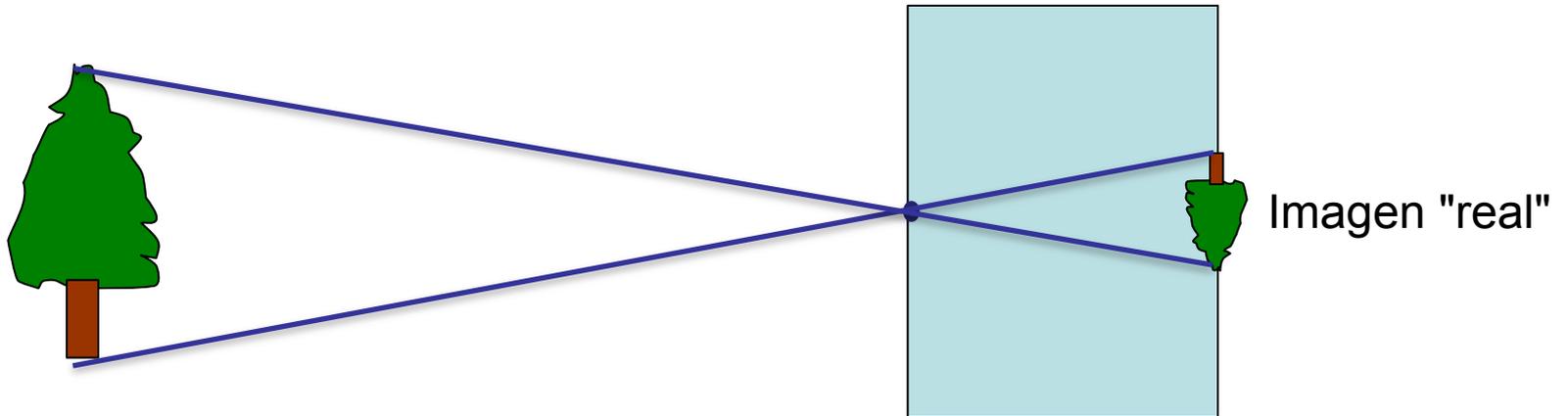
## "Pinhole camera"



Dibuja

# Cámara estenopeica

La luz pasa por un hueco pequeño



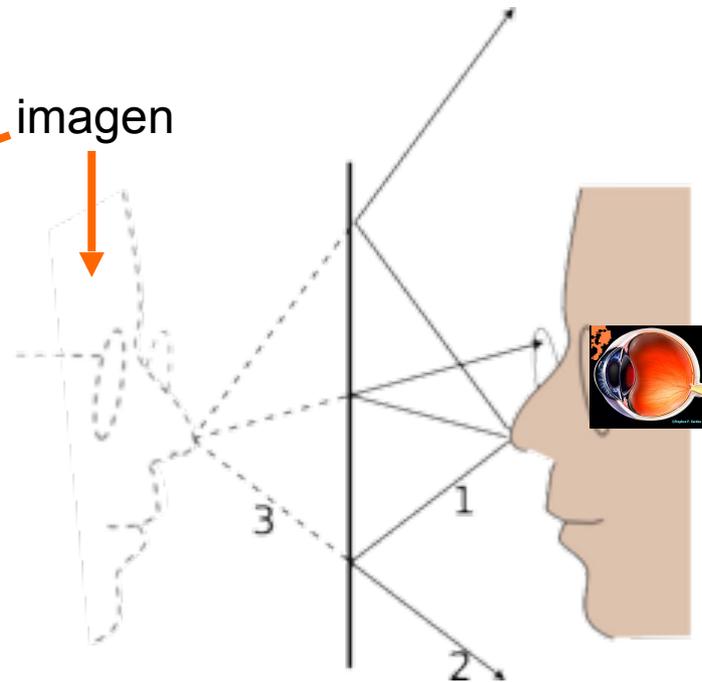
La imagen se forma punto a punto porque la luz pasa por un hueco bien pequeño. Desventaja: entra poca luz y si el objeto no está fuertemente iluminado quizás no se vea su imagen.

# Espejo plano, la reflexión de la luz, & la imagen virtual



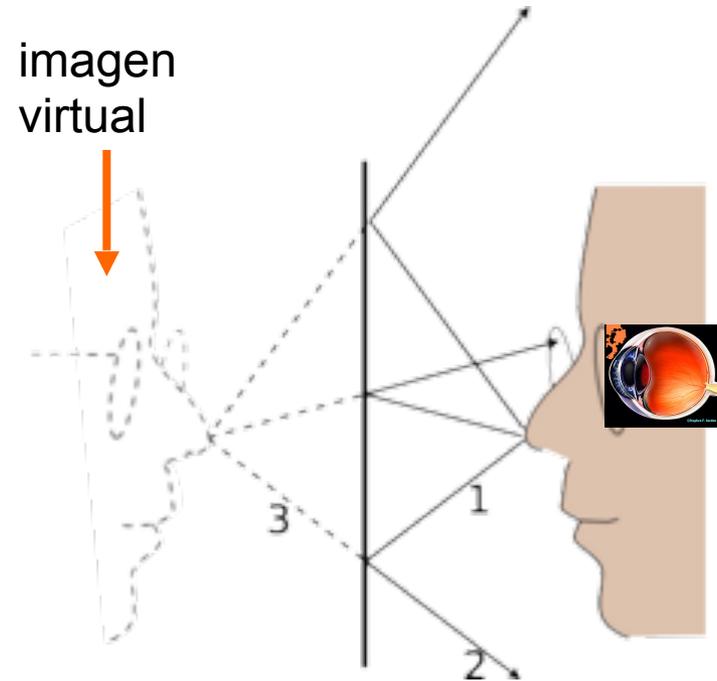
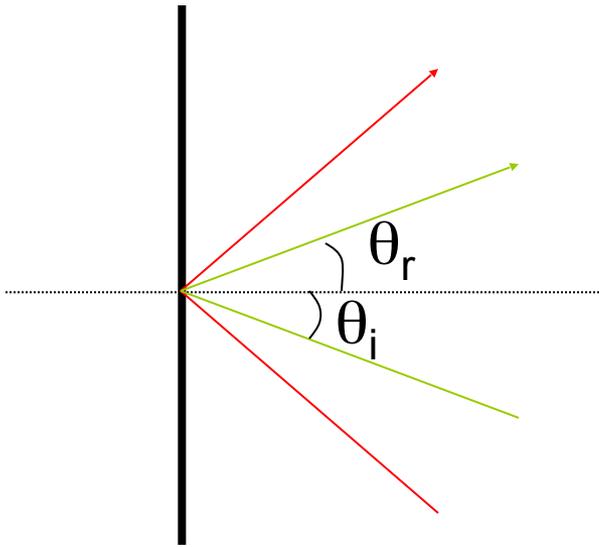
Dibuja

# Imagen virtual



En un espejo plano, vemos una imagen virtual que aparenta estar detrás del espejo. Si pones una pantalla detrás del espejo no verás cosa alguna allí. La luz del objeto no llega allí, pero tras rebotar en el espejo, sale **como si saliera de la imagen**.

# Imagen virtual: reflejo en espejo plano



Los rayos de luz que llegan a un espejo plano se reflejan al mismo ángulo con el que inciden  $\theta_i = \theta_r$ . *Siguiendo ese comportamiento*, un espejo refleja los rayos de luz que salen de un objeto, y los rayos reflejados forman la imagen virtual .

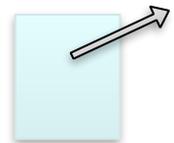
# Real vs virtual

- Si colocas una pantalla donde se forma una imagen real, la luz que llega allí formará la imagen, punto por punto, bien definida.
- Si miras desde más lejos, la imagen real parece ser un objeto donde estaba la pantalla, porque la luz que llega a tu ojo parece salir de cada punto que forma la imagen (como si fuera un objeto).

# Real vs virtual

- Una imagen virtual es una como la que ves en el espejo cada vez que te peinas. No puedes colocar una pantalla en algún lugar y ver una imagen así porque la luz no formará los puntos de la imagen en la pantalla.
- La luz sale de manera que los puntos de la imagen están en un lugar por donde la luz no pasa en realidad.

Cuando la luz pasa de un  
material a otro, lentes  
( y también el espejo cóncavo)



Dibuja

# El lente grande

(Es real)

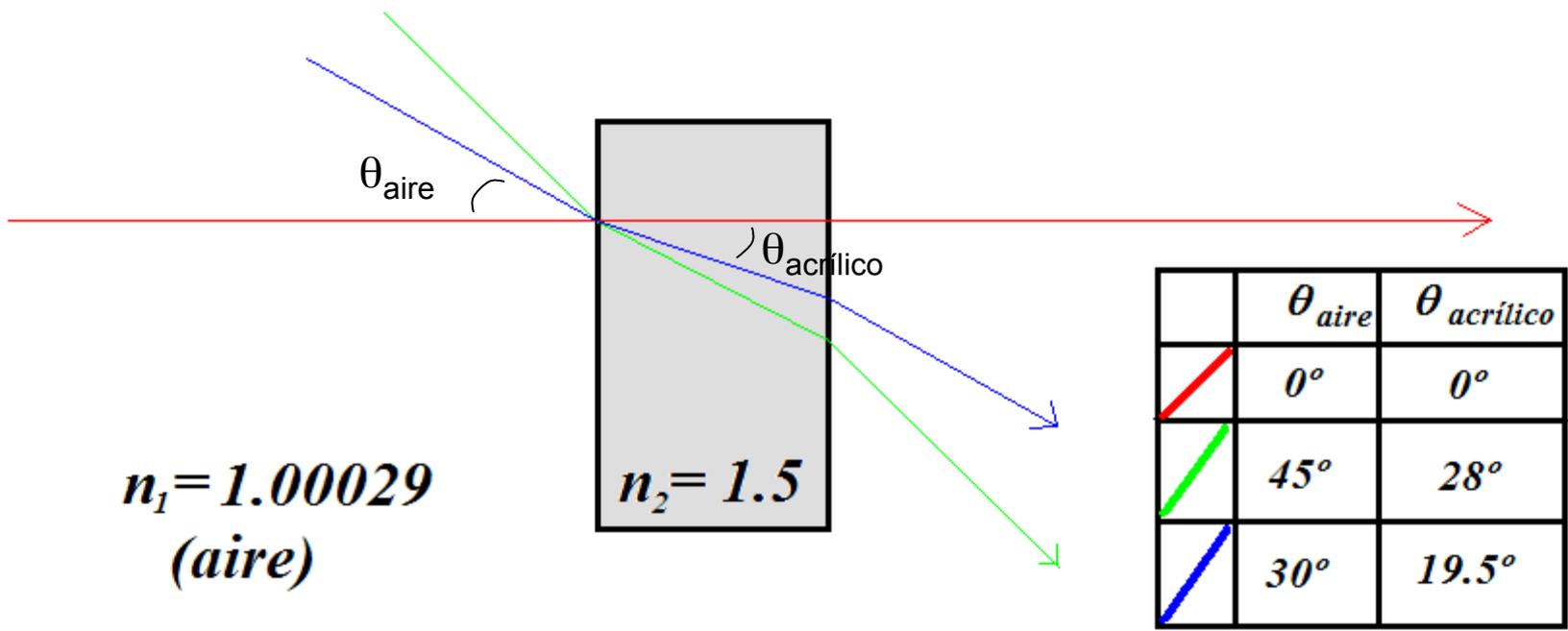
# El espejo

(También es real)

# Observar imágenes con dos lentes diferentes

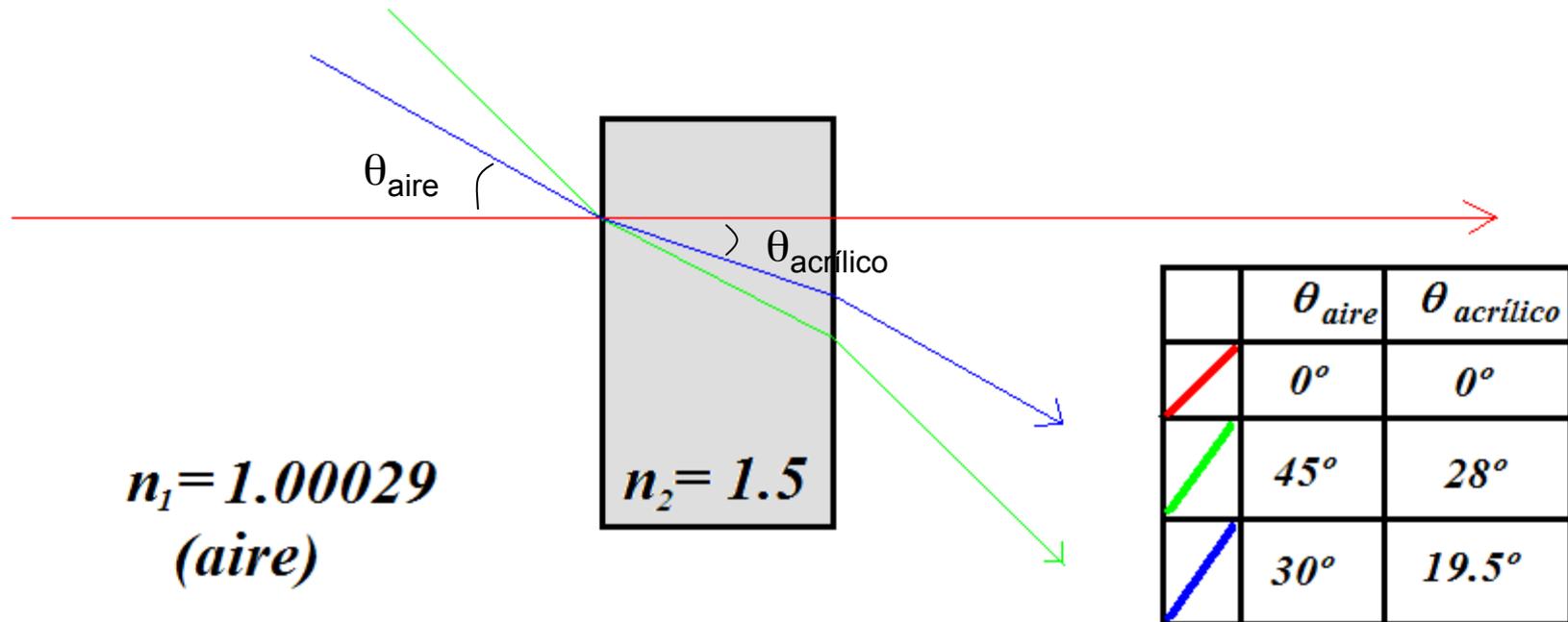
Moraleja: con lentes que tienen formas diferentes, son diferentes las combinaciones en distancias al objeto y a la imagen, y el tamaño de la imagen.

# Refracción



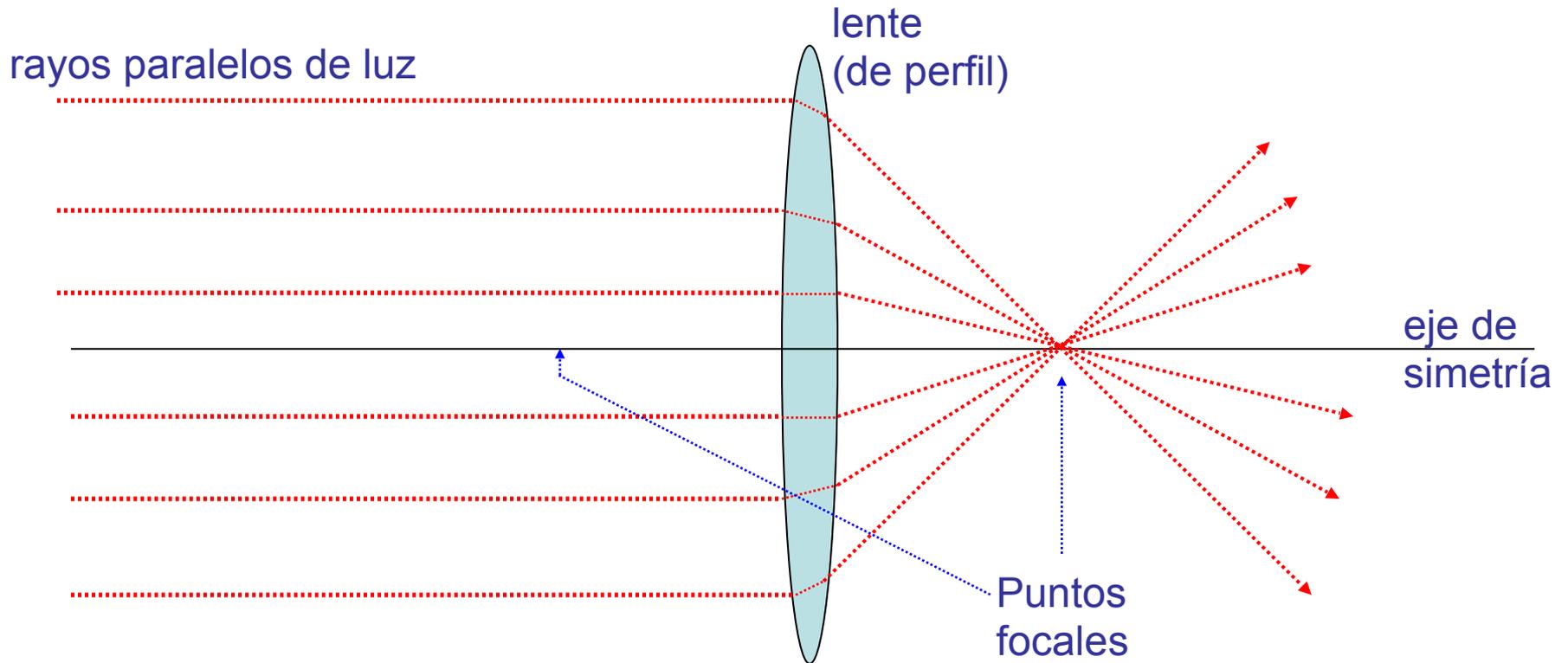
Los rayos de luz se desvían en el momento en que la luz pasa a través de la frontera (la superficie) entre el aire y el acrílico. El resto del tiempo la luz viaja en línea recta.

# Ley de snell



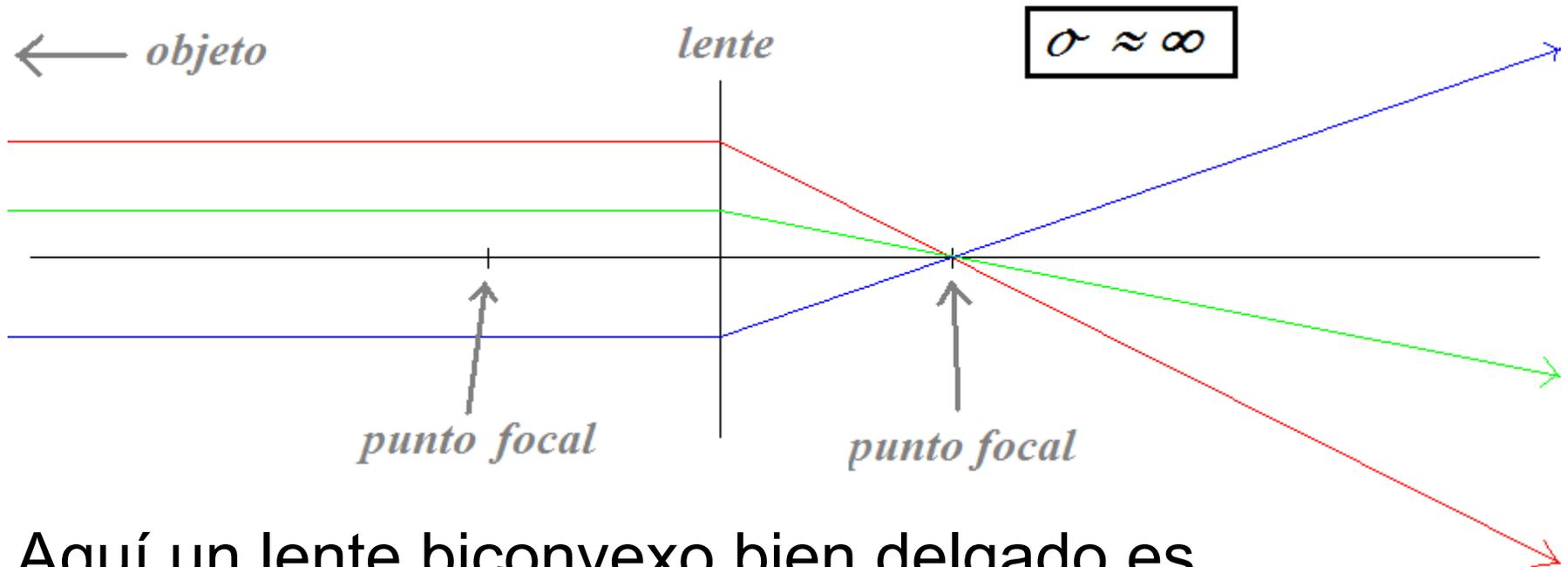
- $n_{aire} \sin(\theta_{aire}) = n_{acrílico} \sin(\theta_{acrílico})$
- Además del ángulo al que llega la luz, importa tanto el material donde estaba la luz como el material adonde va la luz para establecer el camino de la luz.

# El punto focal



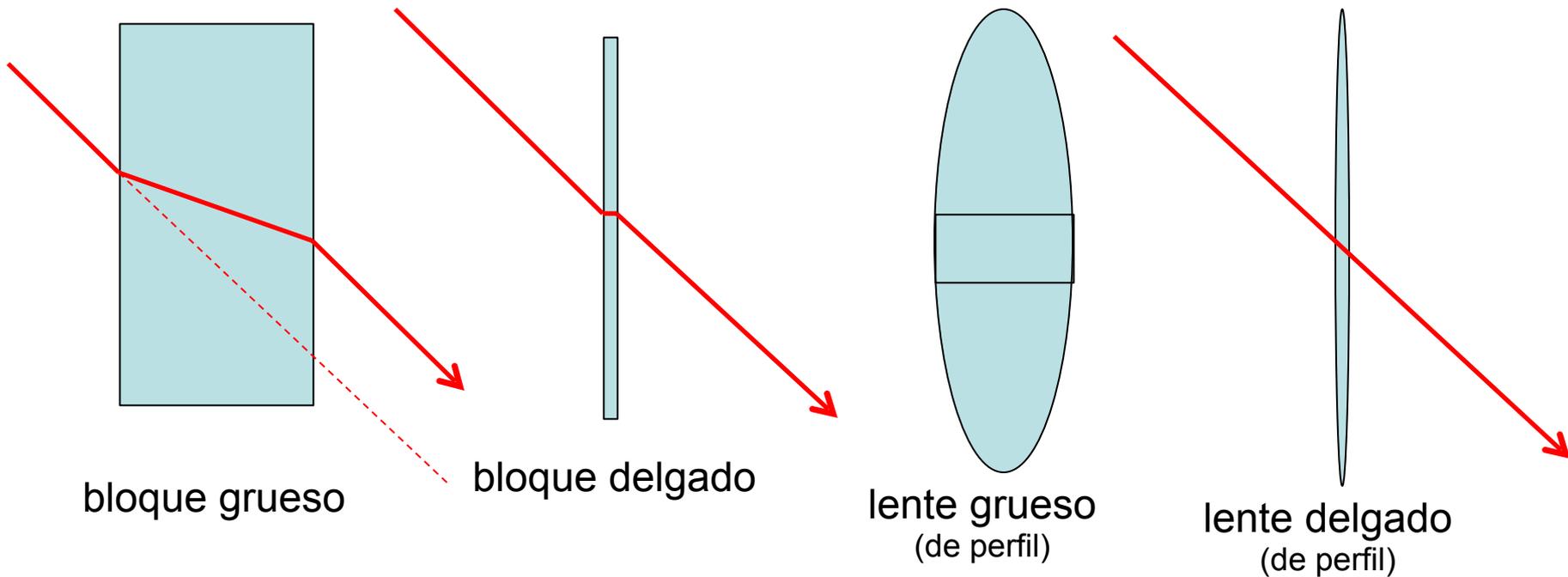
Lo conoces de cuando quemas una hoja concentrando la luz del Sol con una lupa (una lupa es un lente). Hay un punto focal a cada lado del lente (funciona dependiendo de dónde viene la luz).

# El punto focal



Aquí un lente biconvexo bien delgado es representado por una línea vertical. Vemos como desvía a varios rayos de luz debido al efecto de la refracción. Los **rayos paralelos** al eje de simetría son enfocados.

# Luz que pasa por el centro de un lente delgado

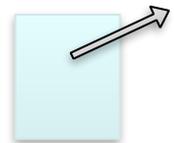


- La parte central de un lente es como un bloque. Si el lente es bien delgado ***no se desviará*** el rayo de luz que pase ***por su centro***.

Cada parte del lente,  
independientemente de las demás,  
forma toda la imagen

Si tapo una parte del lente con mi mano, aún se ve toda la imagen (aunque brilla menos).

Predecir dónde se  
formará la imagen



Dibuja

# Para predecir dónde se formará la imagen

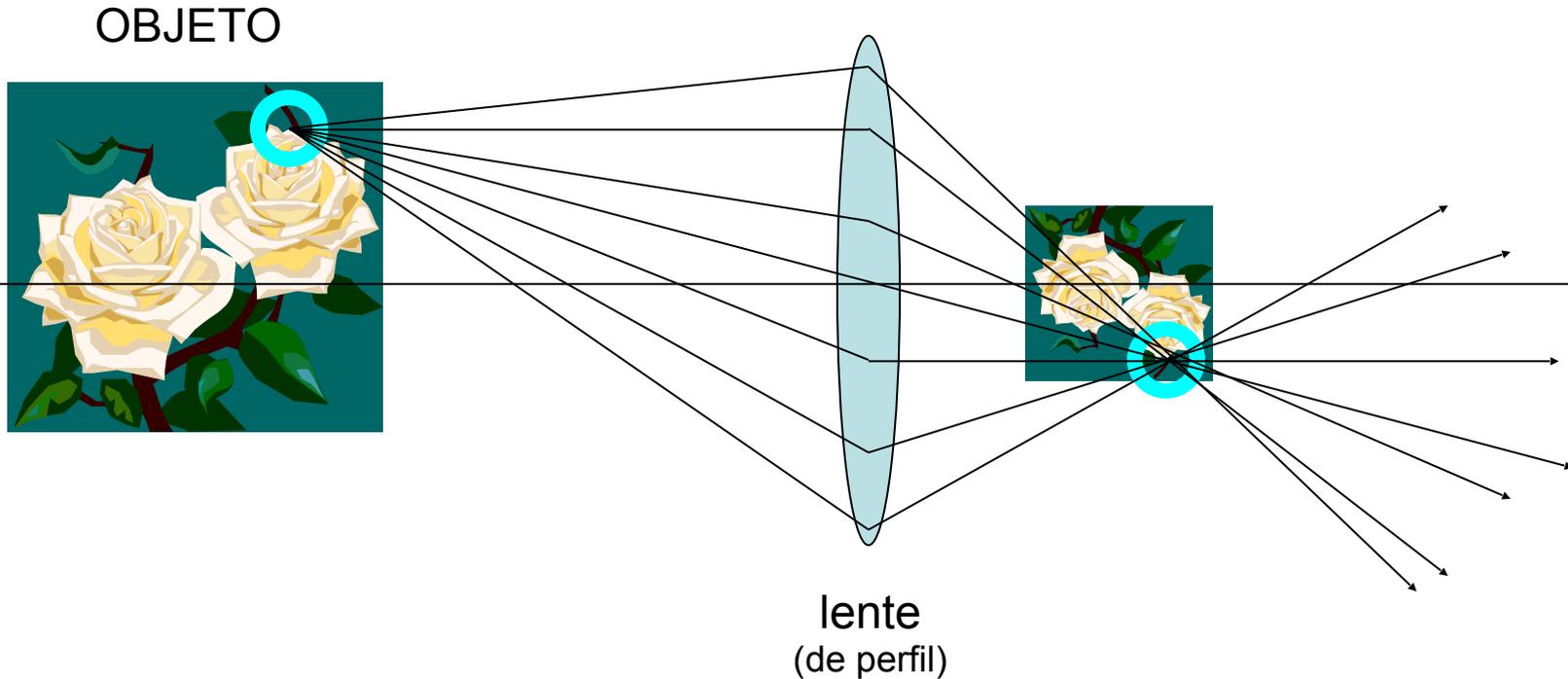
OBJETO



lente  
(de perfil)

- Si logramos localizar ***un punto*** que forma parte de la imagen, sabremos dónde se forma toda la imagen.

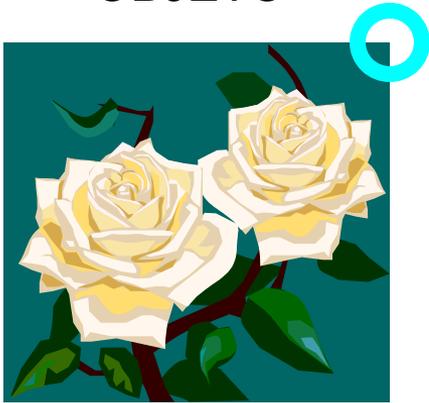
# Para predecir dónde se formará la imagen



- La luz que sale de un punto del objeto (y llega al lente y sale por el otro lado), **tiene** que formar un punto correspondiente si forma una imagen real.

# Para predecir dónde se formará la imagen

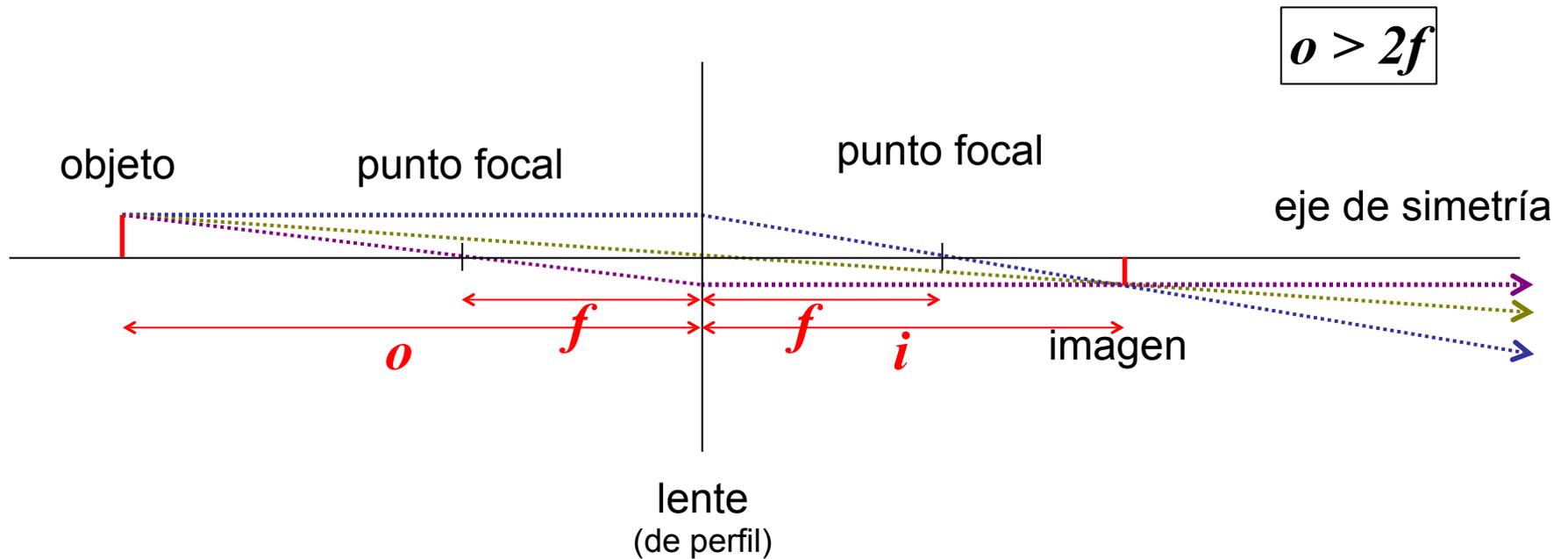
OBJETO



lente  
(de perfil)

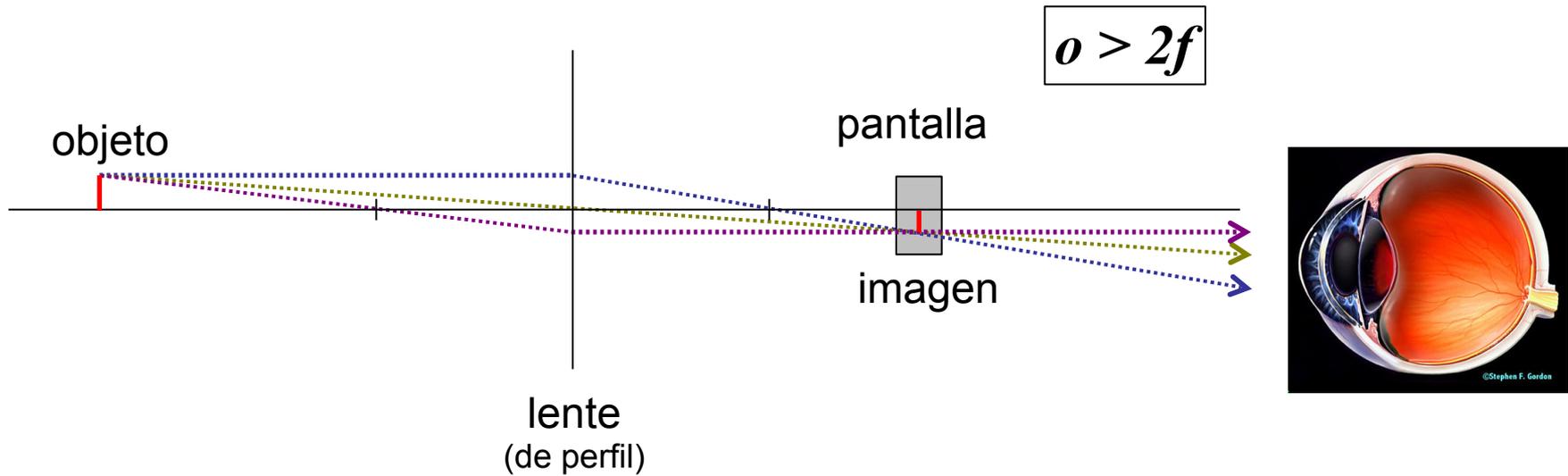
- Si trabajamos con un punto en el extremo del objeto, encontraremos el extremo correspondiente de la imagen.

# Dónde se formará una imagen



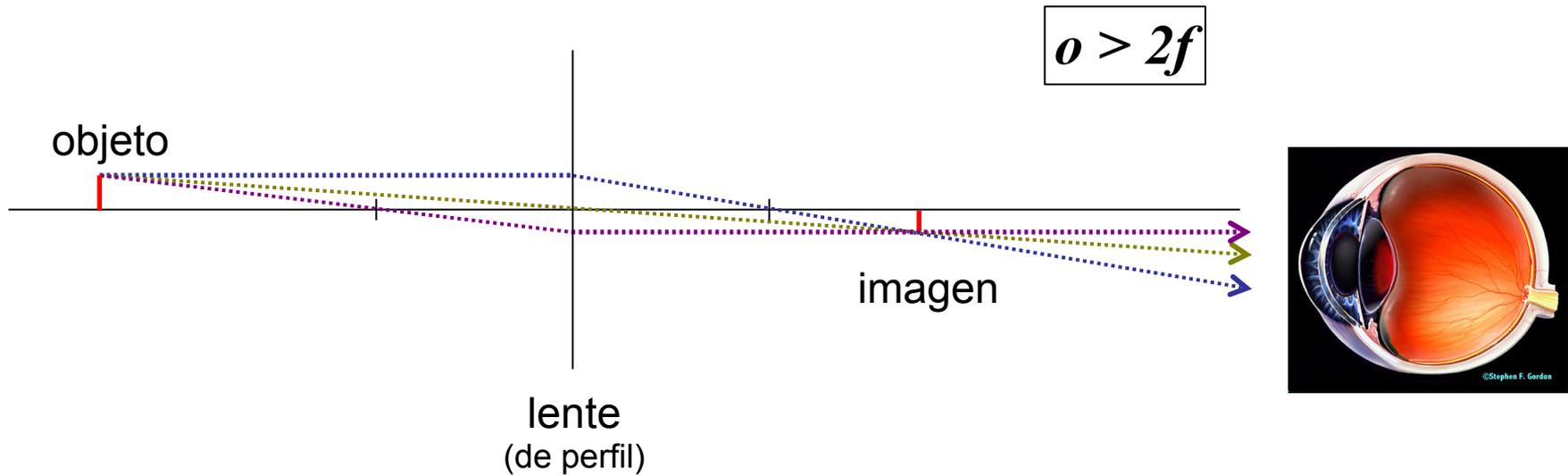
Cuando  $o > 2f$ , la imagen que se forma es **real**, al revés, y más pequeña que el objeto.

# Imagen real



La imagen real puede ser vista en una pantalla porque la luz forma los puntos de la imagen allí.

# Imagen real



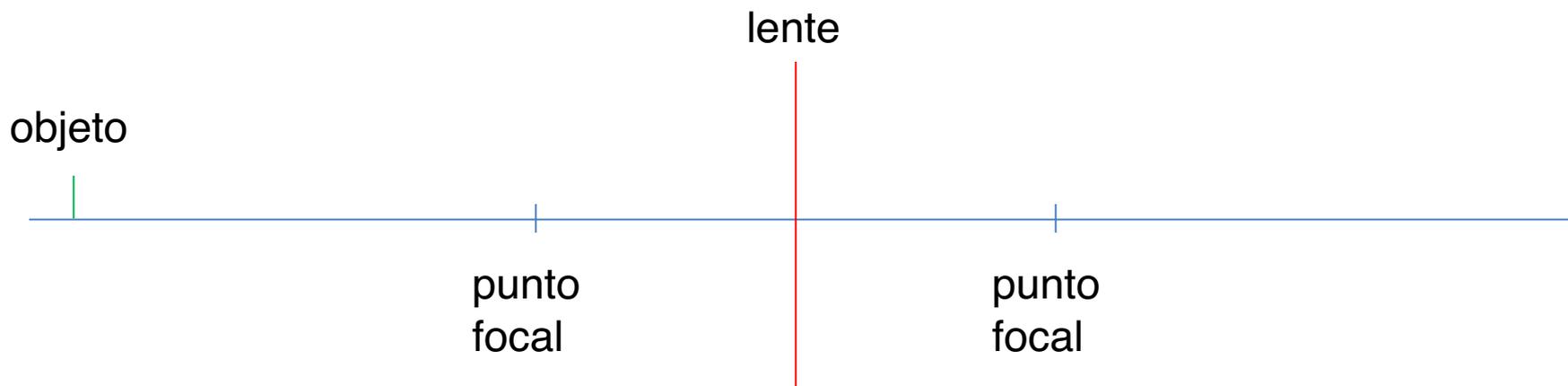
Si quitas la pantalla y los rayos de luz siguen su camino, **de lejos, la imagen funciona como un objeto, mandando luz desde los puntos que la forman.** La vemos igual como si fuera un objeto en ese lugar.

# Real vs virtual

- Si colocas una pantalla donde se forma una imagen real, la luz que llega allí formará la imagen, punto por punto, bien definida.
- Si miras desde más lejos, la imagen real parece ser un objeto donde estaba la pantalla, porque la luz que llega a tu ojo parece salir de cada punto que forma la imagen (como si fuera un objeto).

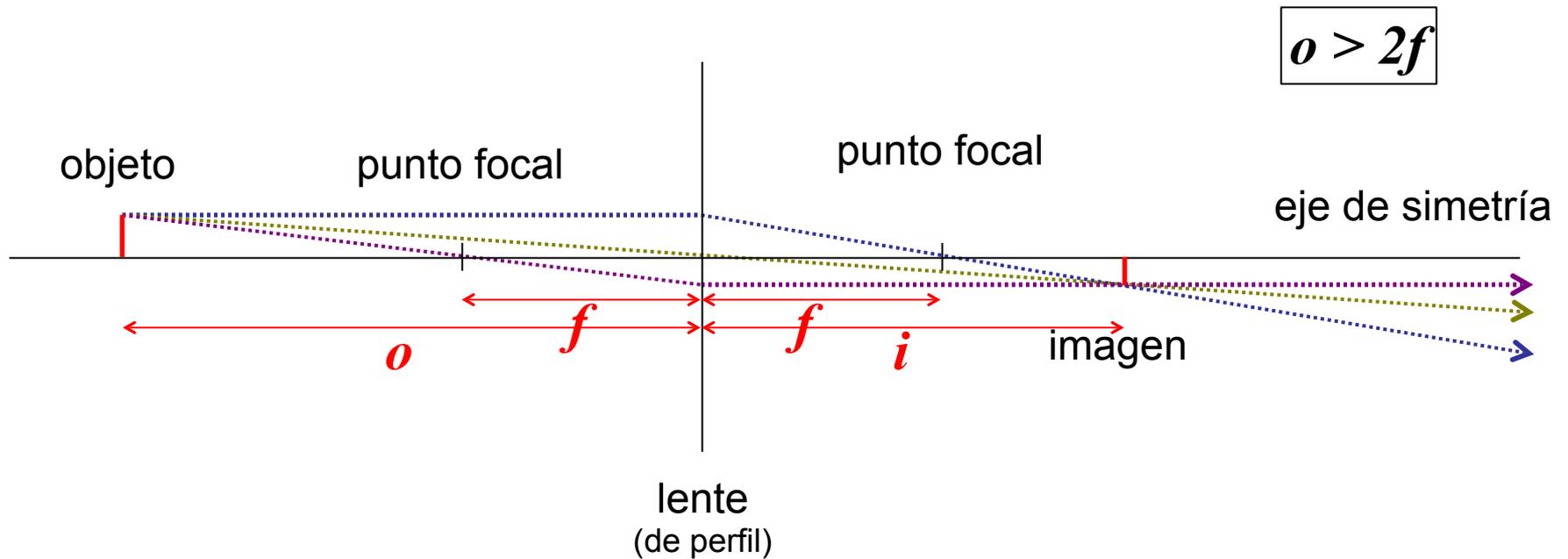
Nombre \_\_\_\_\_

fecha \_\_\_\_\_



Dibuja los 4 o más segmentos de líneas necesarias y coloca la imagen donde va.

# Dónde se formará una imagen



Cuando  $o > 2f$ , la imagen que se forma es **real**, al revés, y más pequeña que el objeto.

Nombre \_\_\_\_\_

fecha \_\_\_\_\_

objeto

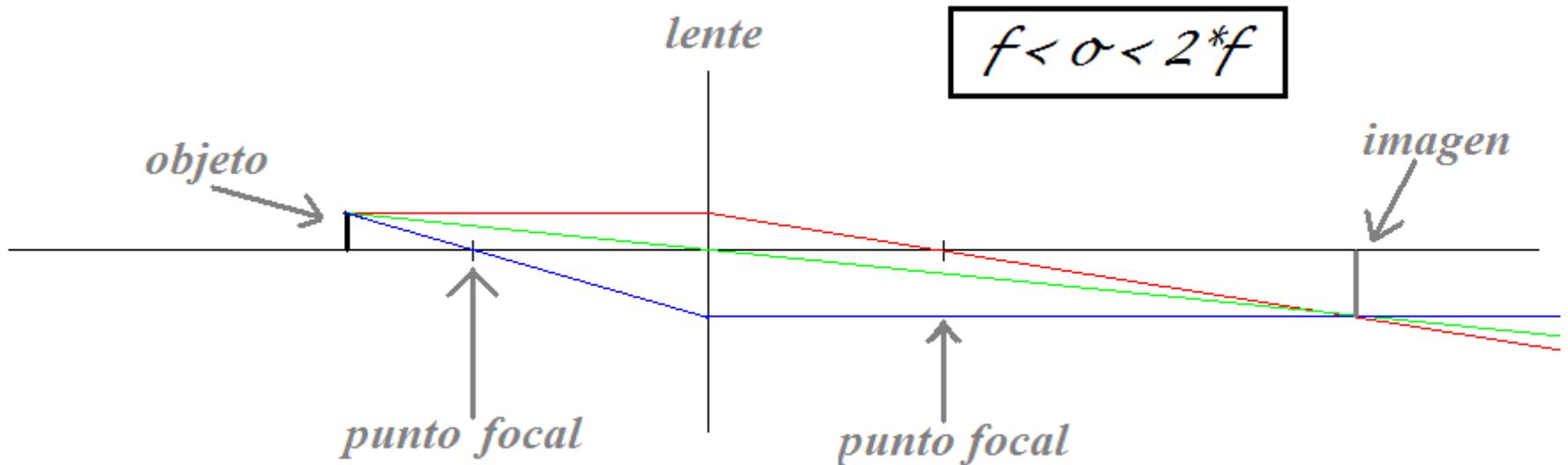
lente

punto  
focal

punto  
focal

Dibuja los 4 o más segmentos de líneas necesarias y coloca la imagen donde va.

# Dónde se formará una imagen



Cuando  $2f > o > f$ , la imagen que se forma es real, al revés, y más **grande** que el objeto.

Nombre \_\_\_\_\_

fecha \_\_\_\_\_

lente

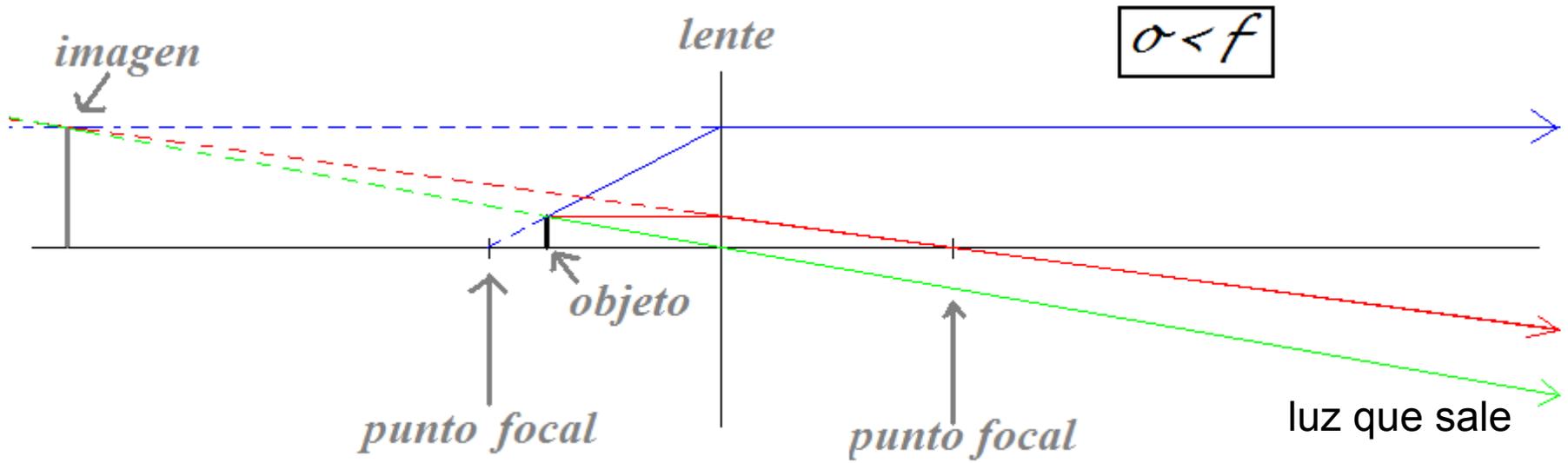
objeto

punto  
focal

punto  
focal

Dibuja los 4 o más segmentos de líneas necesarias y coloca la imagen donde va.

# Dónde se formará una imagen



Cuando  $f > o$ , la imagen que se forma es **virtual**, al derecho, y más grande que el objeto. La luz que sale del lente **parece** que hubiera salido de un objeto grande que en realidad es la imagen. Sin embargo, la luz no pasa por donde está la imagen.

# Real vs virtual

- Una imagen virtual es una como la que ves en el espejo cada vez que te peinas. No puedes colocar una pantalla en algún lugar y ver una imagen así porque la luz no formará los puntos de la imagen en la pantalla.
- La luz sale de manera que los puntos de la imagen están en un lugar por donde la luz no pasa en realidad.

¿¿¿ Funcionan esas  
predicciones???



Foto

Más exacto

# Las ecuaciones del lente

$M = h'/h$  La magnificación compara el tamaño de la imagen con la del objeto.

$$\tan \alpha = h/o \quad \text{y} \quad \tan \alpha = -h'/i$$

(el signo negativo en el  $-h'$  es porque está por debajo del eje de simetría)

$$\mathbf{M = h'/h = -i/o}$$

$\tan \theta = (PQ)/f$  y  $\tan \theta = -h'/(i-f)$  PQ es igual que h, y entonces,

$$h/f = -h'/(i-f)$$

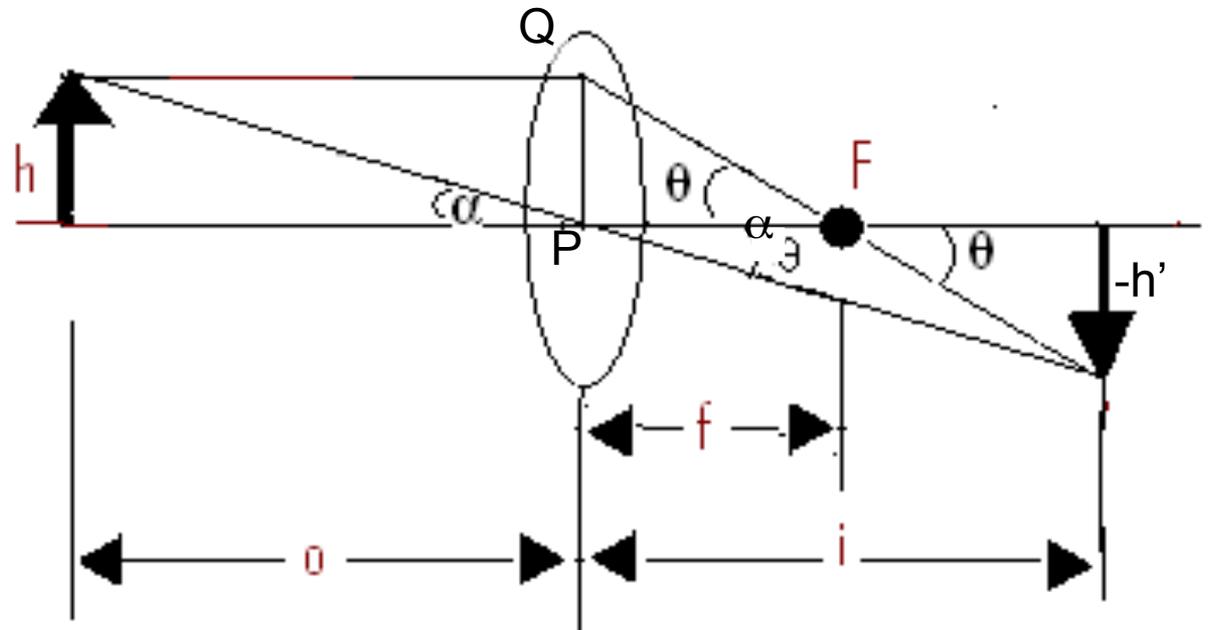
$$h'/h = -(i-f)/f$$

entonces combinando  $M = h'/h = -i/o$  con lo anterior se obtiene

$$i/o = (i-f)/f$$

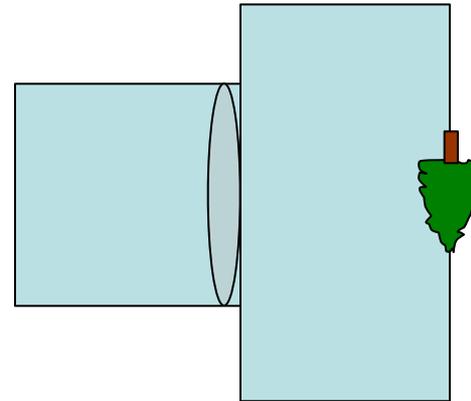
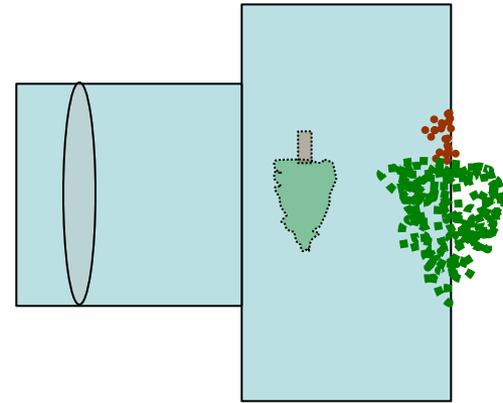
y se reduce a

$$\mathbf{(1/o + 1/i) = 1/f}$$



La cámara

# Cámara simple



- El lente está en un tornillo que permite moverlo hasta que la imagen quede sobre la película o el sensor.

El ojo

# El ojo

- Similar a la cámara, pero con dos lentes:
  - **La córnea**: la primera parte donde ocurre refracción cuando la luz pasa del aire al ojo. La mayor parte de la desviación de la luz ocurre aquí. Es “dura” y no cambia de forma. *[En realidad también es un lente]*.
  - **El lente**: es un lente ***flexible*** que puede ser comprimido por el anillo de músculo que lo rodea o estirado por fibras elásticas que lo mantienen en su lugar, y por eso puede cambiar de forma. Hace las desviaciones finas de la luz para que la imagen quede sobre la retina.

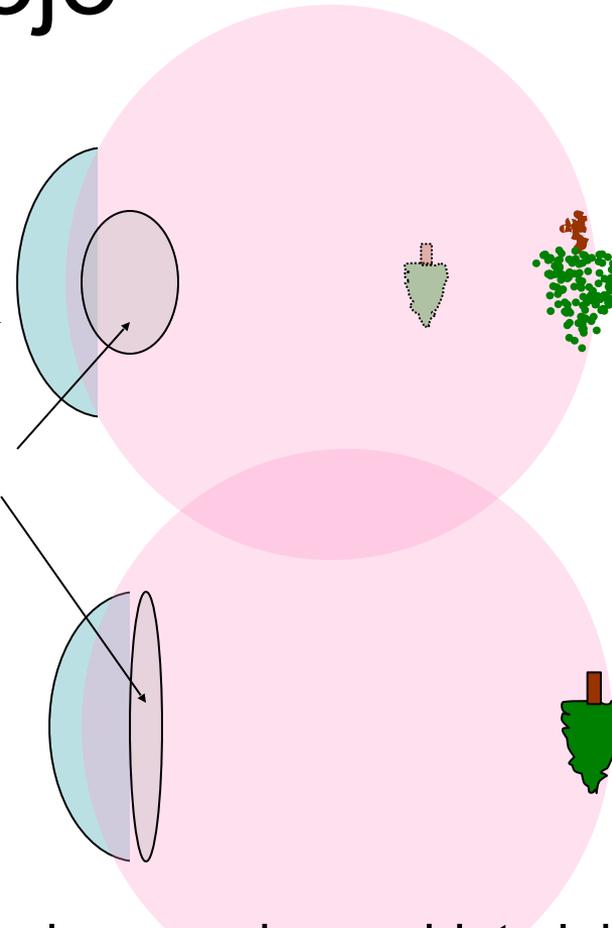
# El ojo

objeto lejano



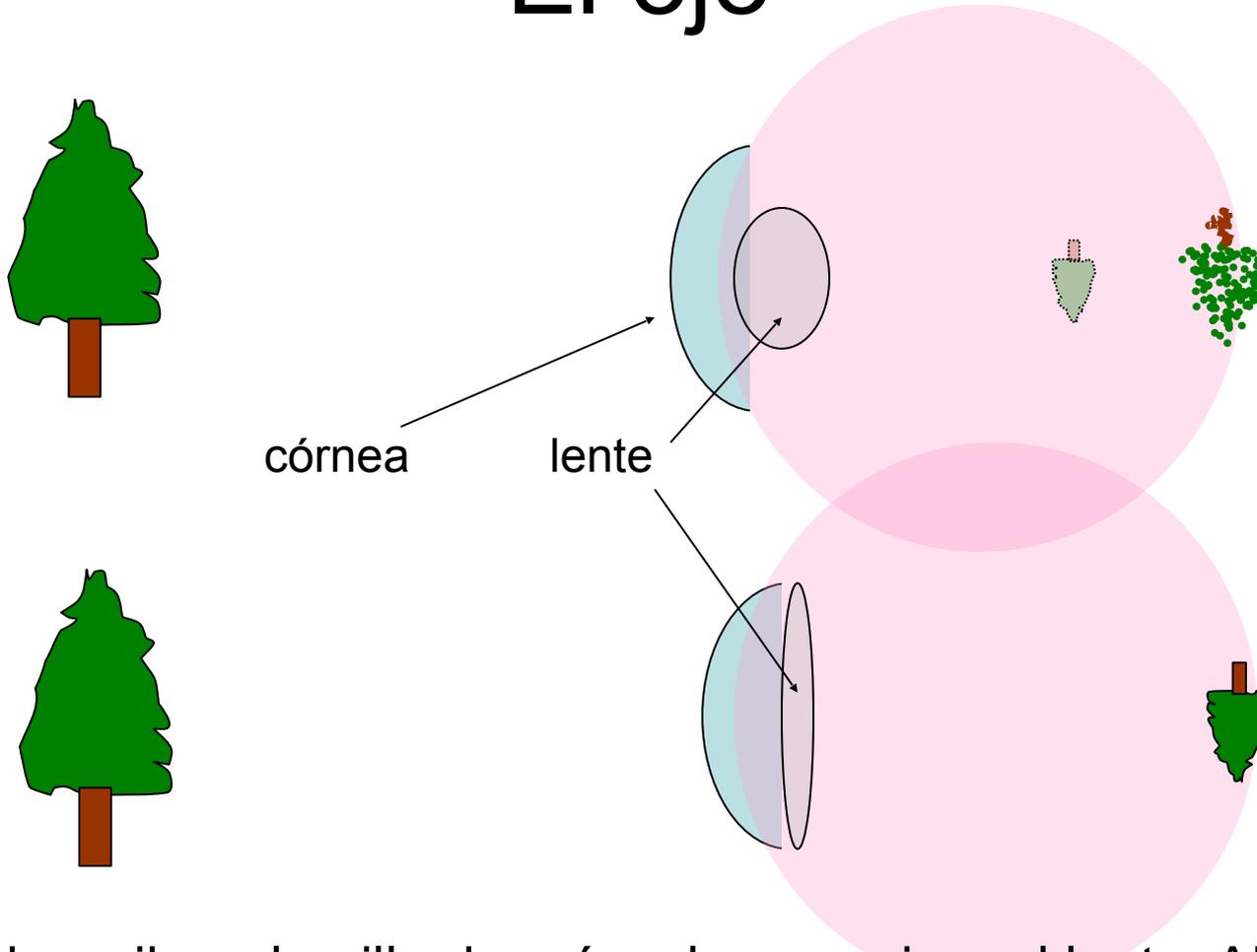
córnea

lente

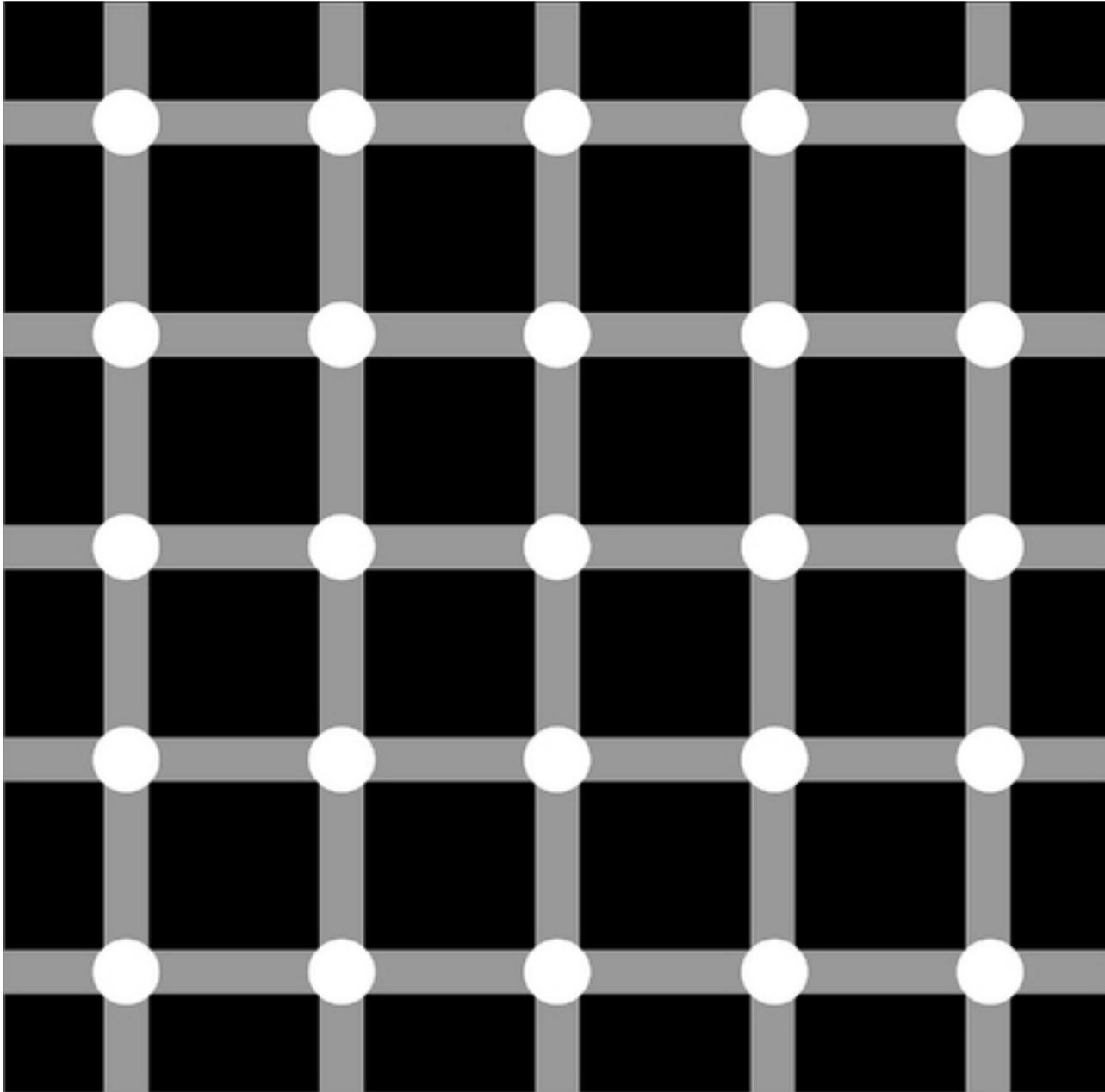


- La córnea, sola, casi puede producir la imagen de un objeto lejano en la retina. El lente ayuda cuando hace falta. El lente comprimido (arriba) produce una imagen más pequeña y más cercana a sí. Eso no ayudaría aquí. El lente estirado (abajo) no desvía mucho la luz de la córnea y ella, casi sola, forma la imagen, bien definida, en la retina. El lente hace falta para ver cosas cercanas.

# El ojo



En el caso de arriba, el anillo de músculo comprime al lente. Abajo, está relajado. Para el objeto lejano, el músculo del lente se relaja, el lente se estira, y el ojo descansa porque la córnea hace la mayor parte del proceso de formar la imagen. OJO: ¿NOTASTE QUE LA IMAGEN ESTÁ AL REVÉS.

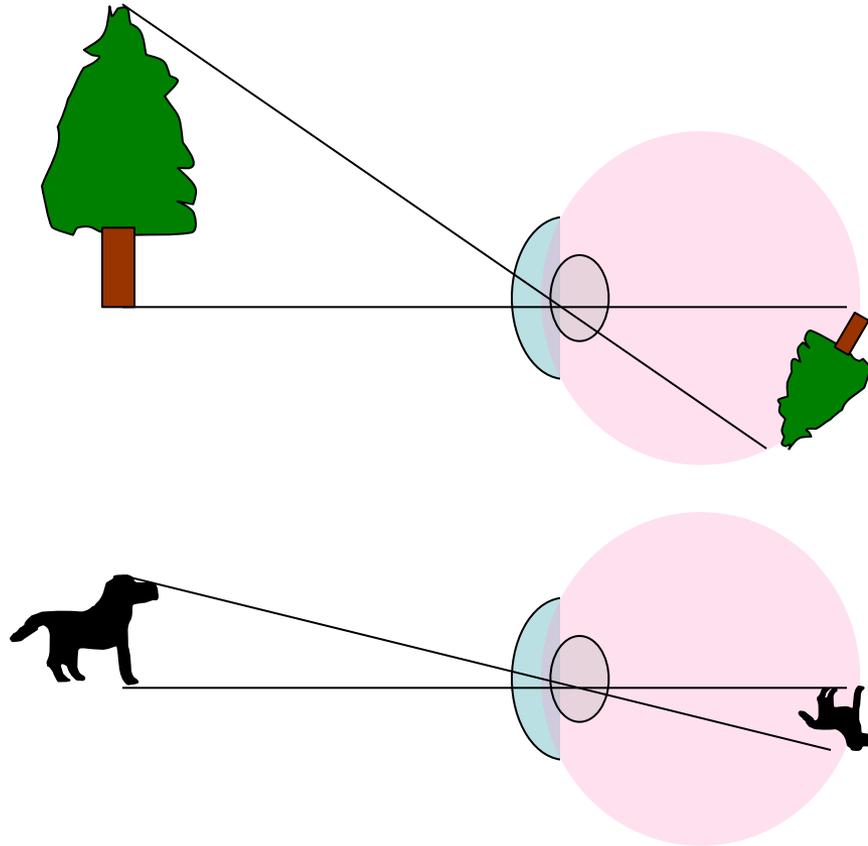


El ojo y el cerebro procesan la imagen que hacen los lentes en la retina.

No todo lo que ves está así, ni allí.

# El ojo y los tamaños de las cosas

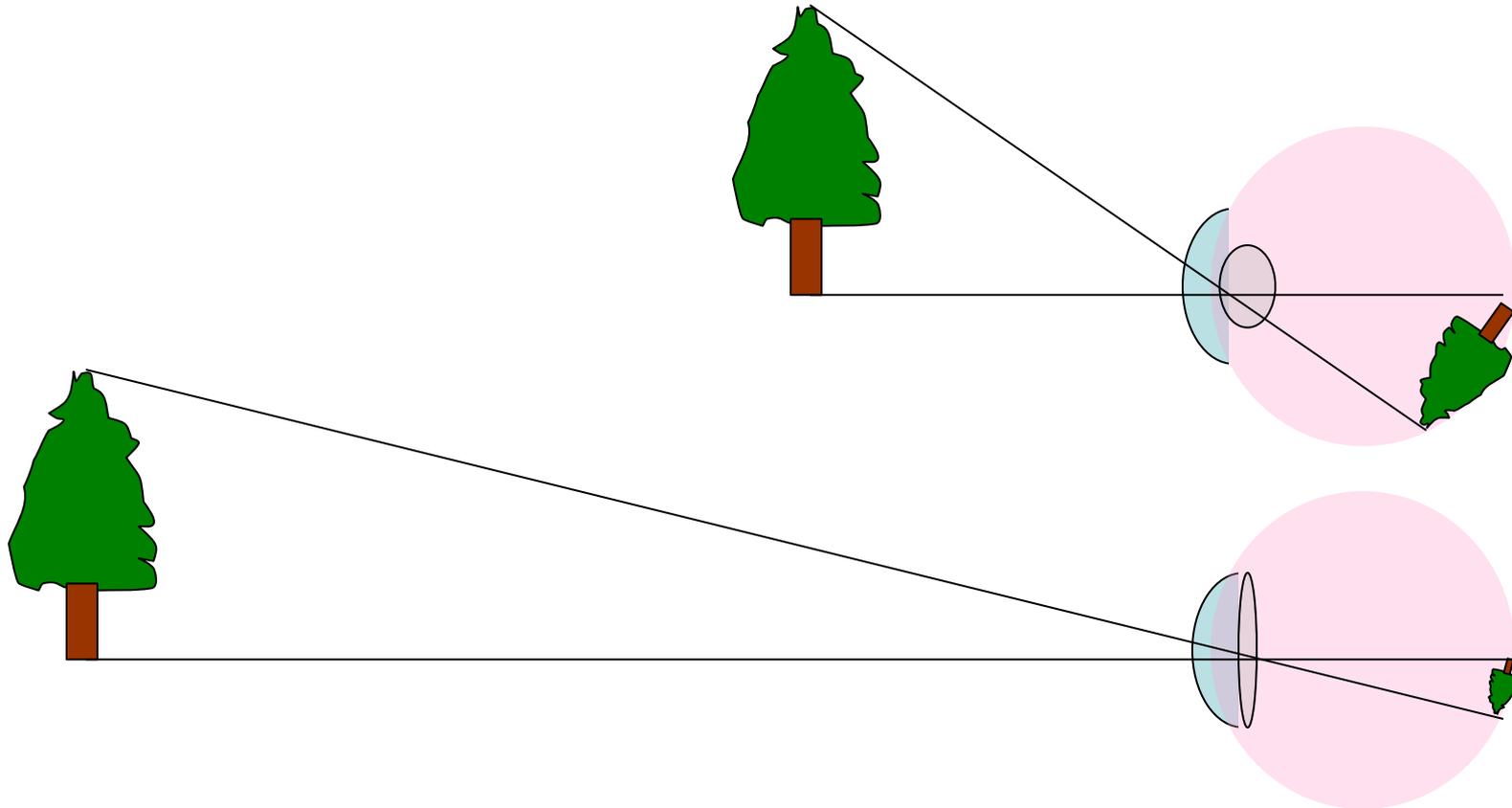
# Objeto grande vs. pequeño



- A LA MISMA DISTANCIA un objeto grande produce una imagen más grande en la retina, por lo cual lo vemos más grande. (OJO: el lente)

Perspectiva

# Objeto lejos vs. cerca

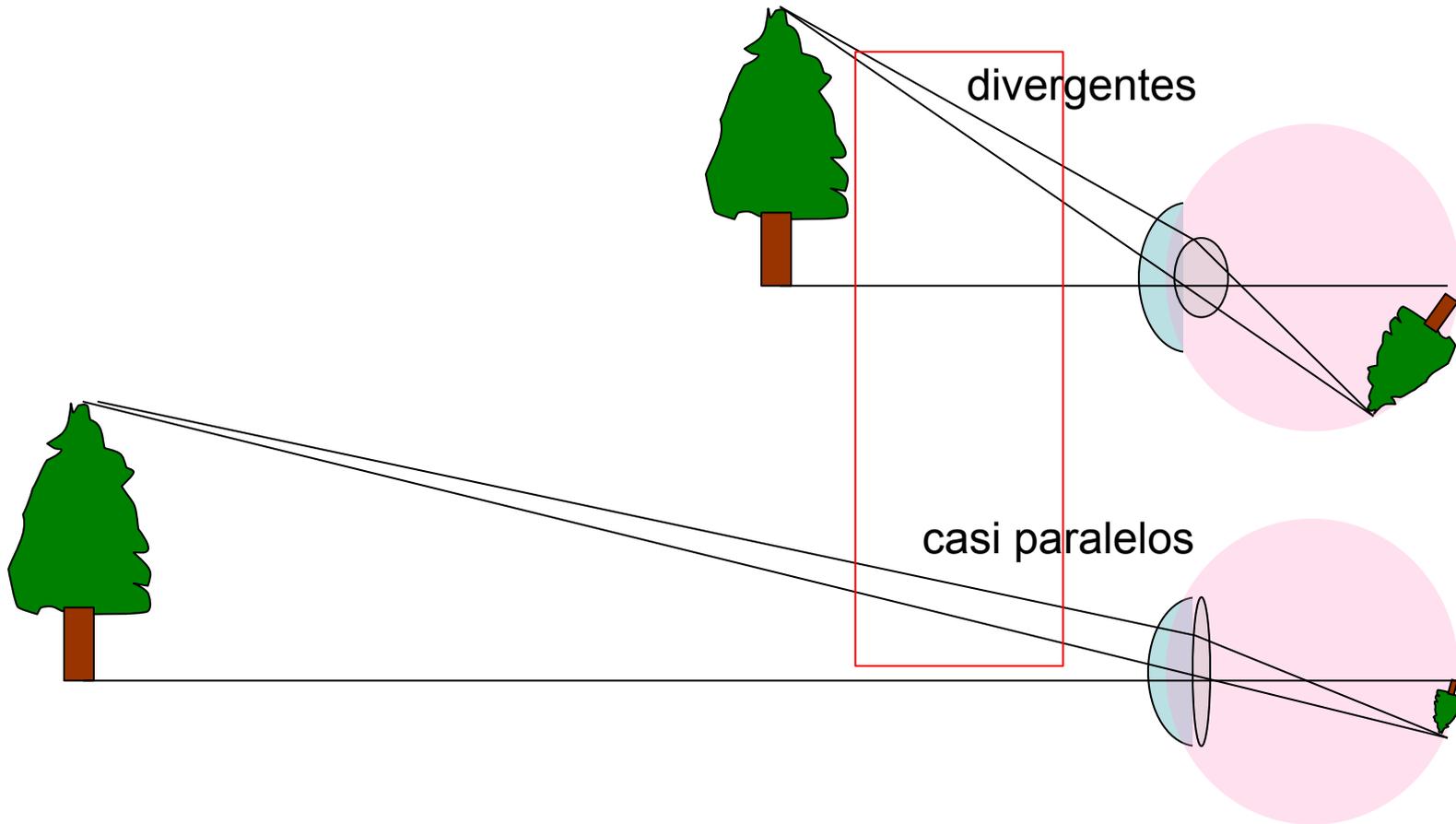


- Un mismo objeto, al estar cerca, produce una imagen más grande en la retina, por lo cual lo vemos más grande. El músculo que rodea al lente está relajado con objetos lejanos, cuyos rayos de luz llegan casi paralelos. (OJO: el lente)

# Pequeño a distancia

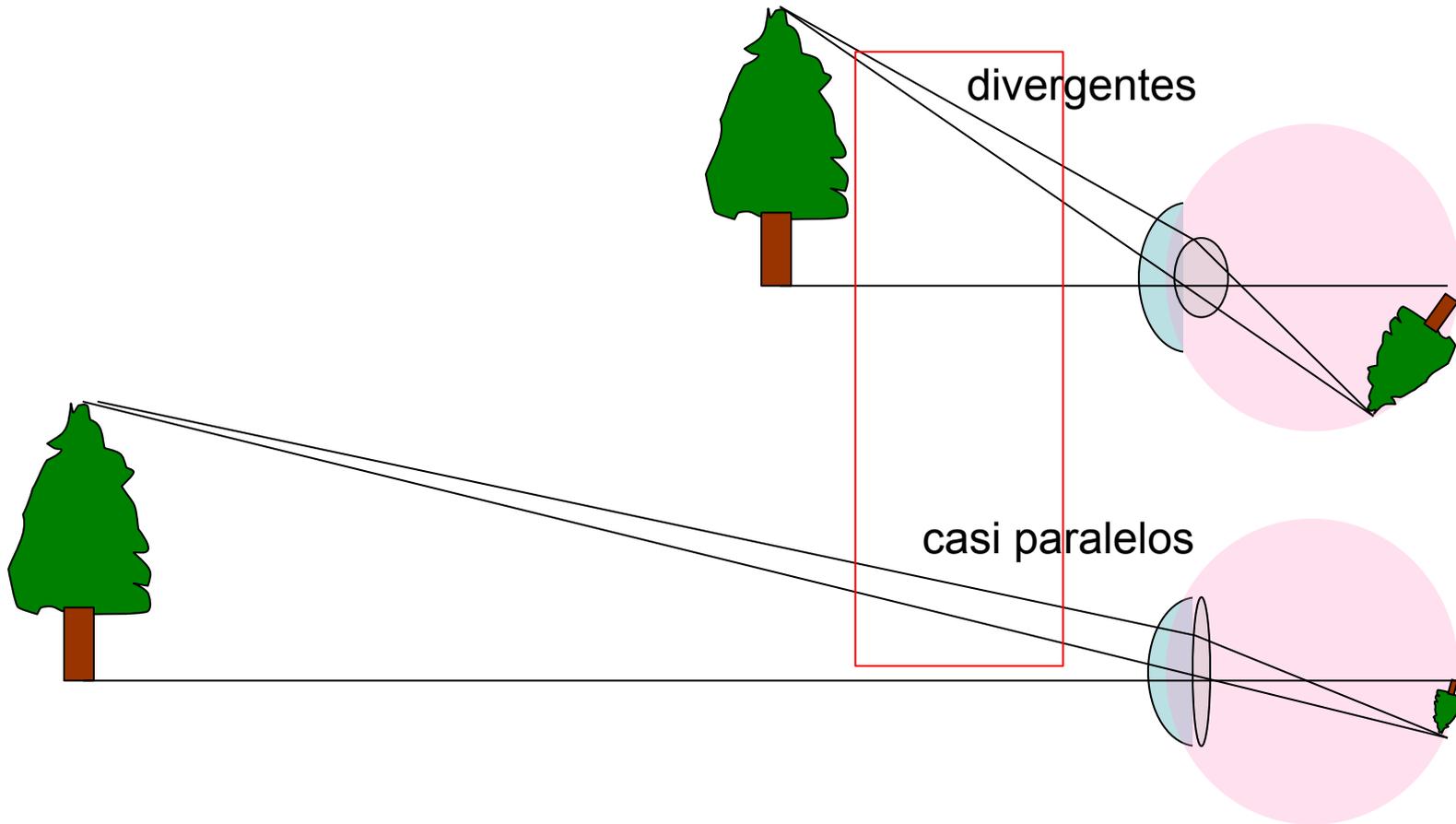


# Objeto lejos vs. cerca: el músculo del lente



- El músculo que rodea al ***lente*** está relajado con objetos lejanos, cuyos rayos de luz llegan casi paralelos, porque la ***córnea*** enfoca por sí misma a los rayos paralelos, formando la imagen en la retina. ***El ojo descansa así.***

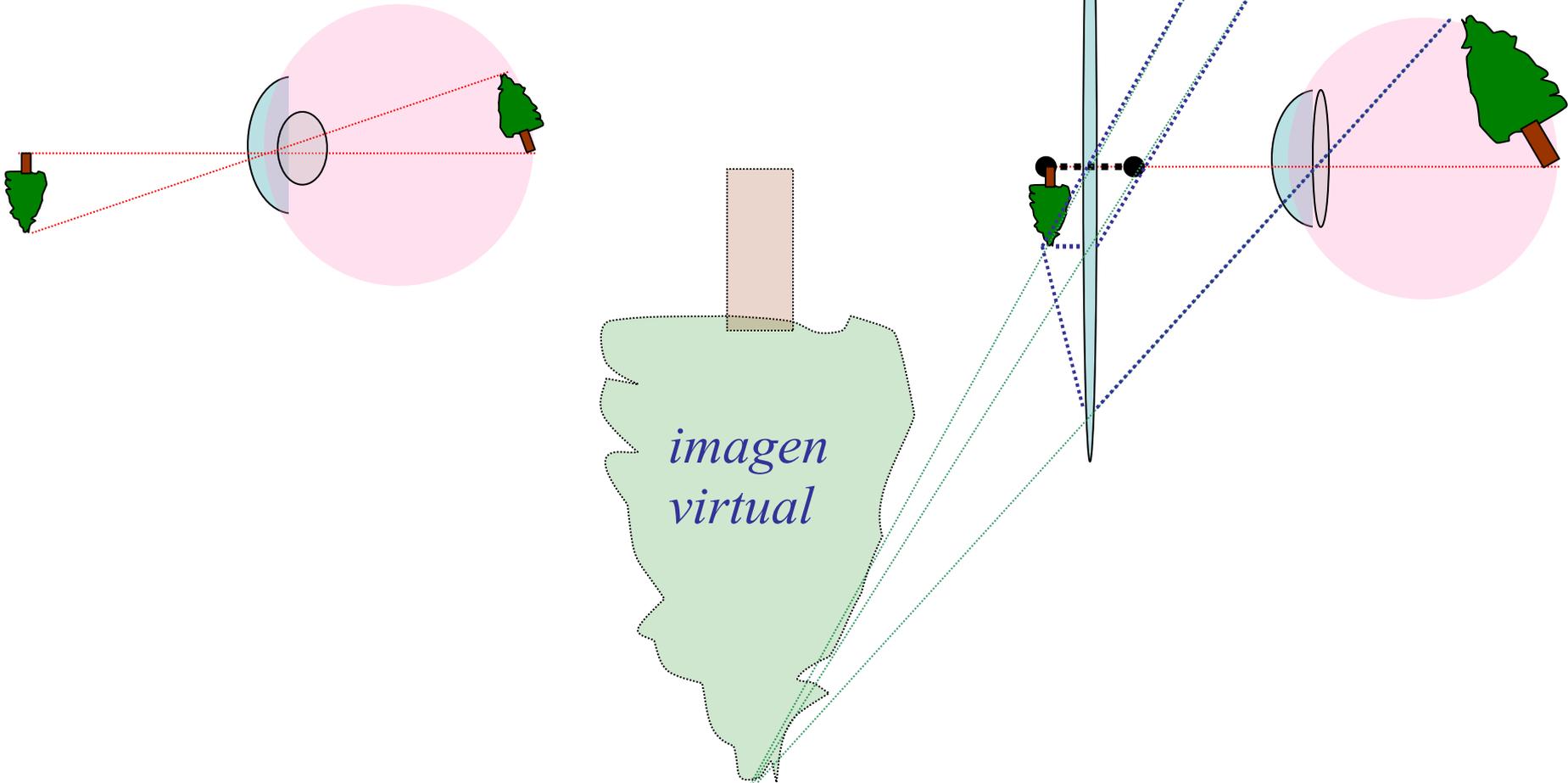
# Objeto lejos vs. cerca: el músculo del lente



- Pero cuando vemos algo cercano, hace falta la ayuda del lente (apretado y abultado) para lograr hacer la imagen en la retina. ESTO NO AFECTA EL TAMAÑO DE LA IMAGEN, es sólo porque hace falta enfocar.

La lupa

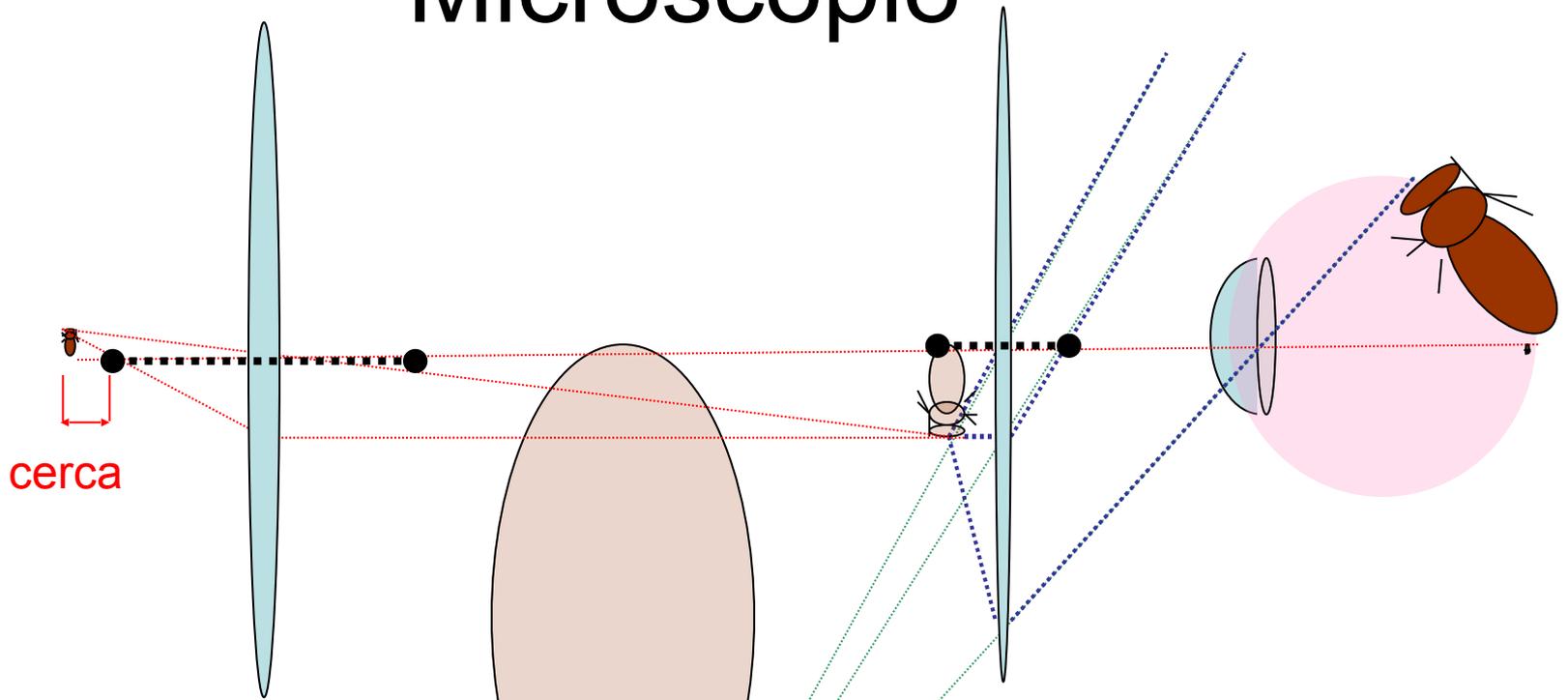
# Una lupa



- Sin lupa un objeto pequeño forma una imagen pequeña en la retina. Con lupa es más grande **y el ojo se relaja**.

# El microscopio

# Microscopio



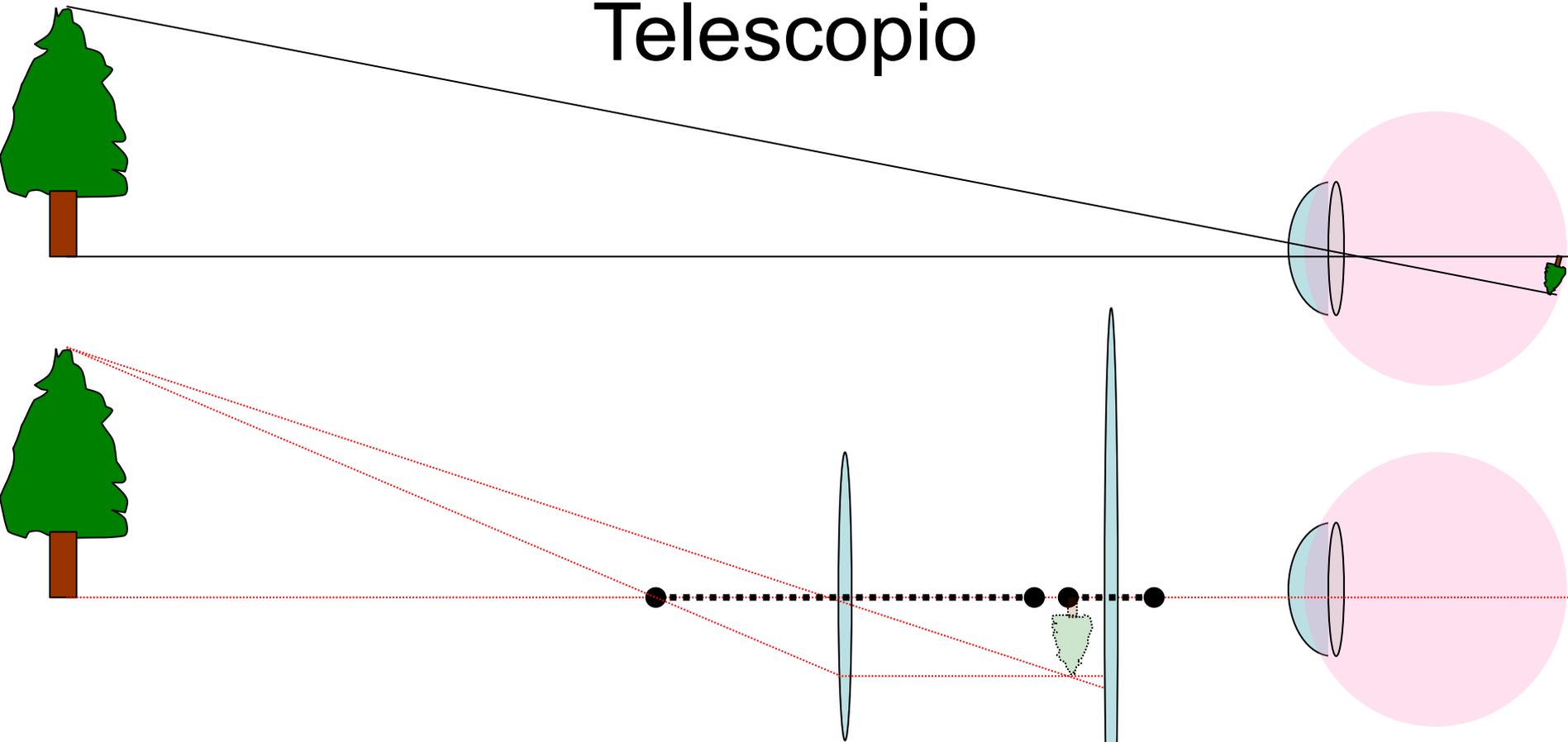
cerca

Un objeto pequeño es agrandado aplicando dos lentes sucesivos. El primero forma una imagen *real agrandada*.

El segundo lente forma una *virtual más agrandada* y que además manda rayos casi paralelos para que descansa el ojo.

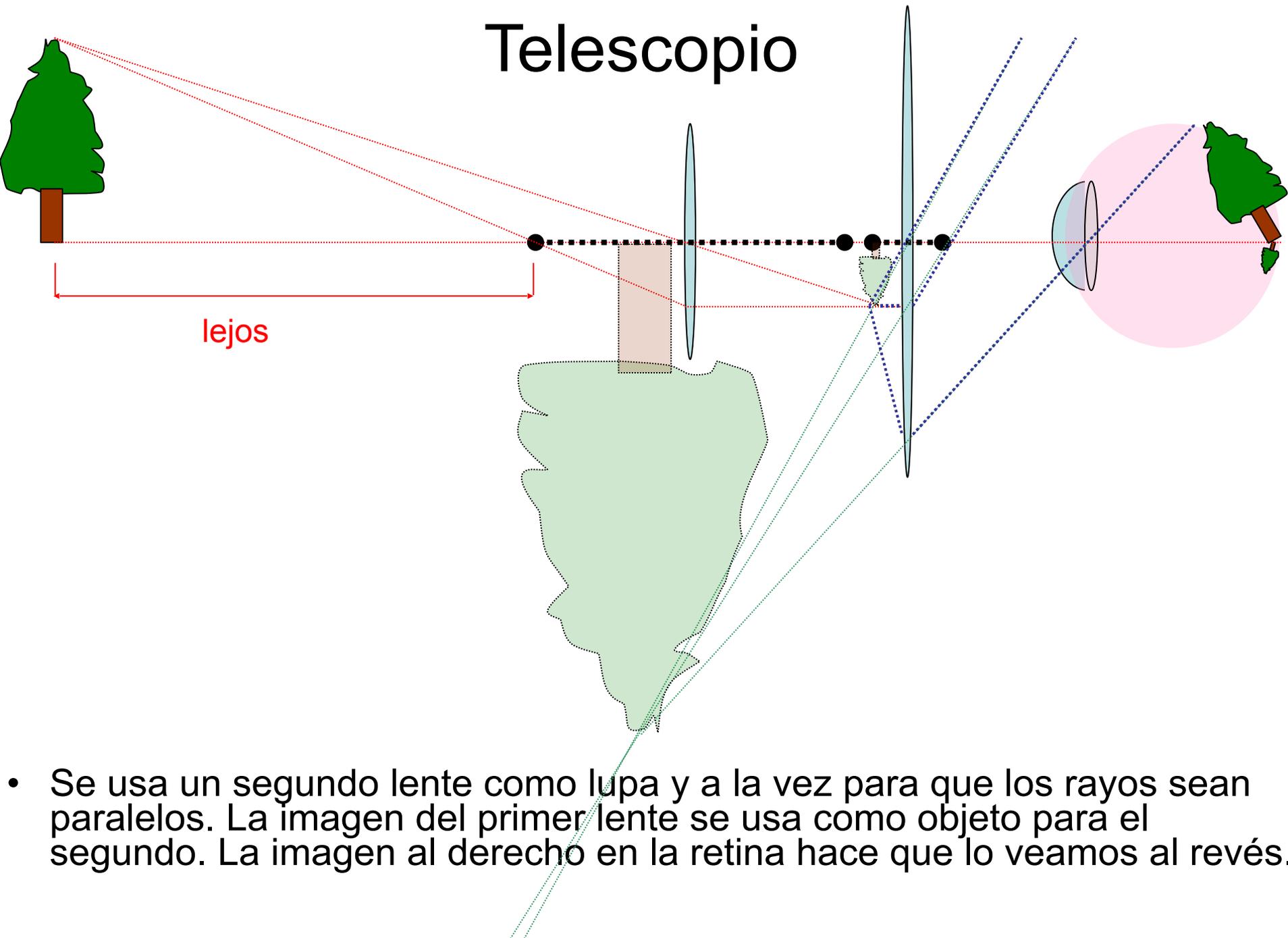
# El telescopio

# Telescopio



- Un objeto grande pero muy lejano lo vemos bien pequeño. Con un telescopio el **primer lente** produce una imagen real **empequeñecida** (si no, el objeto no cabrá en nuestra retina). Luego se usa un segundo lente como lupa y a la vez para que los rayos sean paralelos. La imagen del primer lente se usa como objeto para el segundo.

# Telescopio



- Se usa un segundo lente como lupa y a la vez para que los rayos sean paralelos. La imagen del primer lente se usa como objeto para el segundo. La imagen al derecho en la retina hace que lo veamos al revés.

# Telescopio simple de dos lentes



Foto

# Luz del Sol



- Mientras más lejos esté el Sol, más paralelos son ***los rayos de luz que salen de un punto del sol y llegan a la Tierra.*** Si entran a tu ojo se enfocan en tu retina y te la queman