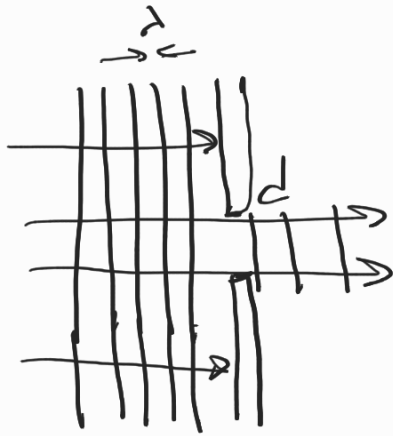
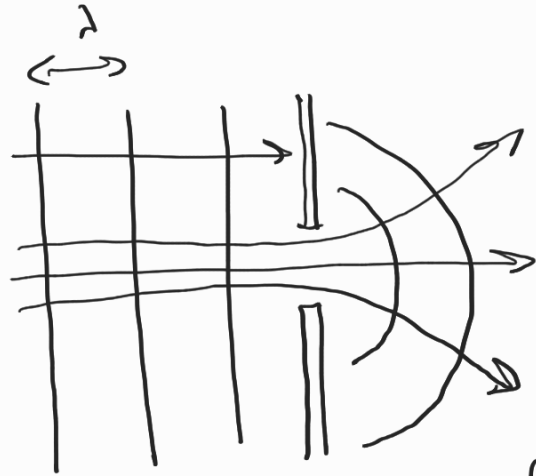


# Óptica física vs. óptica geométrica

- la luz se puede modelar como ondas viajeras cuyos frentes de onda perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.



óptica geométrica (rayos) |  $\lambda \ll d$   
( $d \rightarrow \infty$ )



$d \sim d$  difracción | Se manifiesta el carácter ondulatorio de la luz

- la óptica geométrica asume:

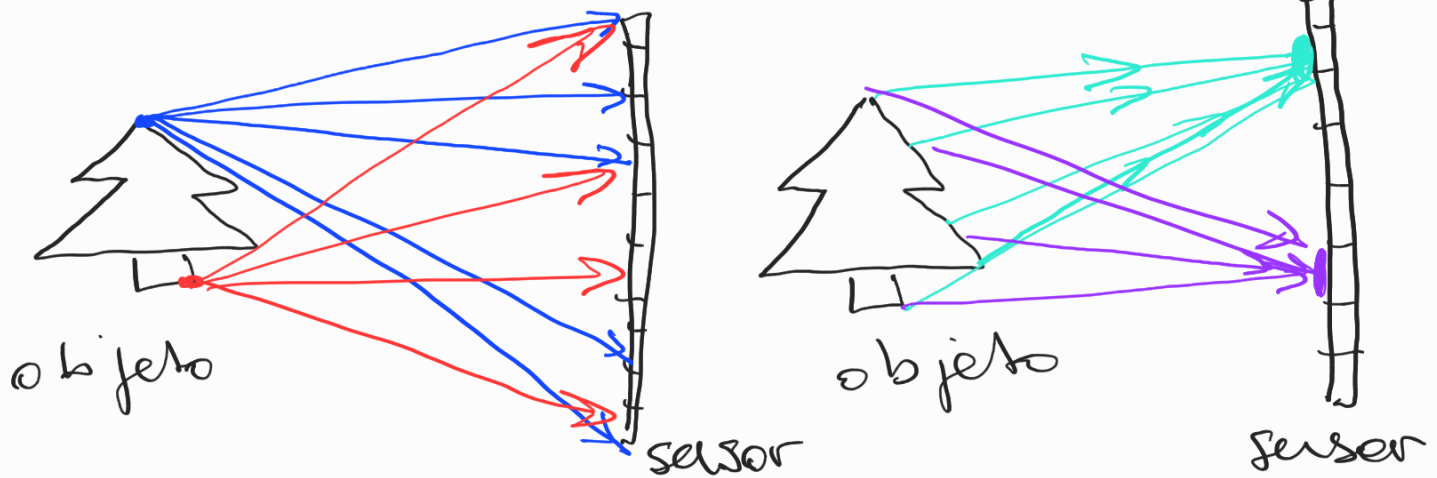
⇒  $\lambda \rightarrow 0$

⇒ no difracción

⇒ rayos se propagan en línea recta en el vacío

¿Por qué no usar sensores solamente?  
(Bare-sensor imaging)

Supongamos que tenemos un sensor digital (CCD o CMOS) y un objeto o escena cuya imagen queremos capturar:



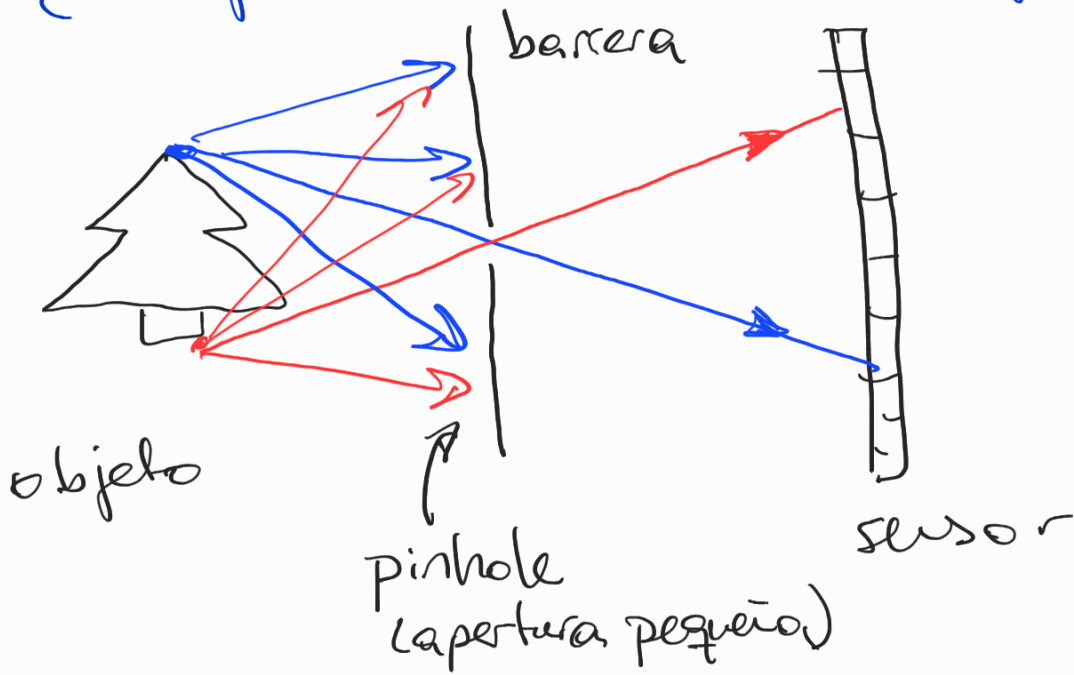
≡ ¿Cómo se vería una imagen así?

- Todos los puntos de la escena contribuyen a todos los píxeles del sensor

- e/ pixel del sensor integrado luz que le llega desde cada punto del objeto

→ queda todo borroso (overdición)

¿Qué podemos hacer para mejorar eso?

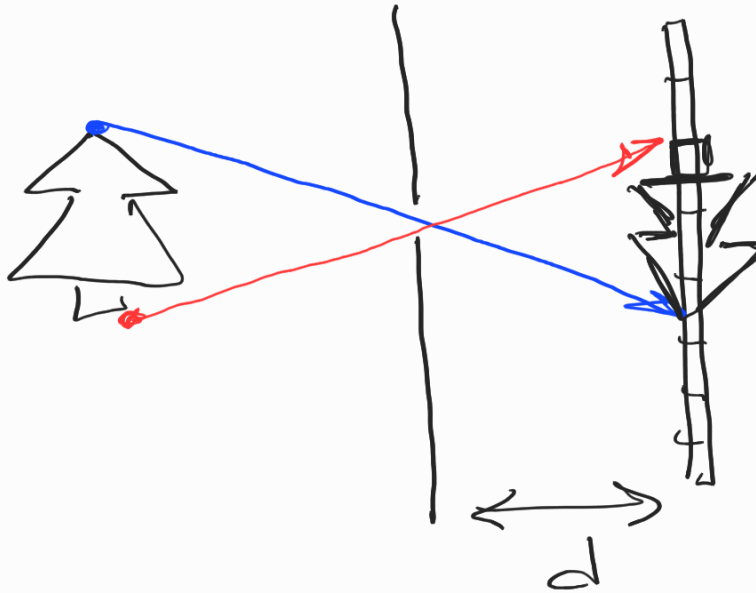


- la mayoría de los rayos son bloqueados (sólo 1 por punto del objeto logra pasar)

- 1% de los puntos del objeto o escena contribuye a sólo 1 pixel

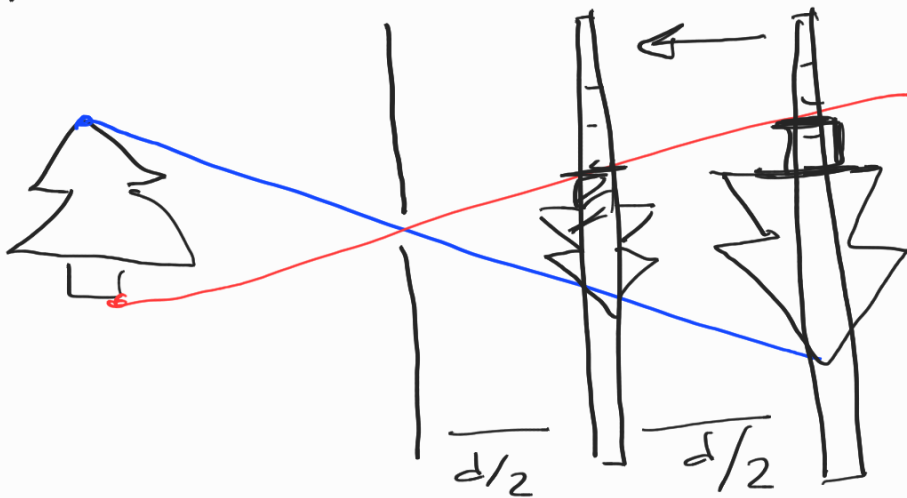
¿cómo se ve la escena?

# Imagen a través de un pinhole



Vemos la imagen del objeto invertida y re-escalada (dependiendo de la dist. del sensor al pinhole)  
 $d = \text{dist. focal } f$

¿Qué pasa si cambiamos la dist. focal a la mitad?



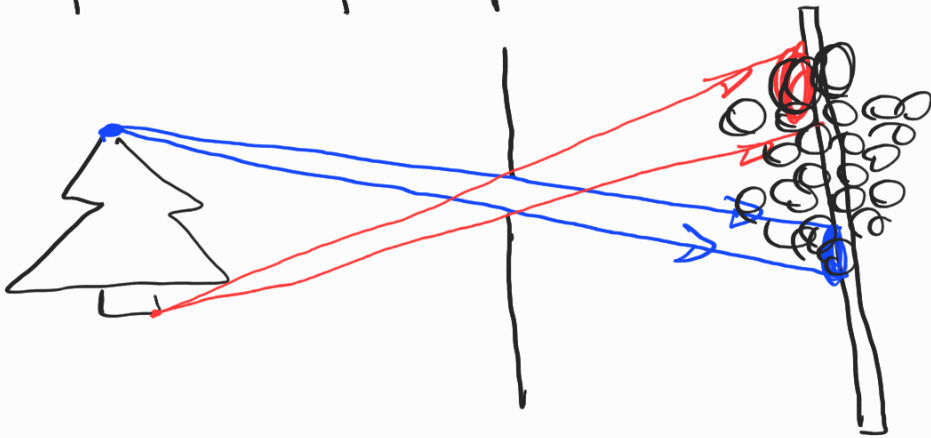
$$f = d/2$$

- la proyección del objeto resulta la mitad del tamaño anterior

pinhole ideal → 1) imagen nítida ✓  
→ 2) SNR baja (poca luz) ✗ (A)

Si hacemos el pinhole muy pequeño tenemos difracción.

¿Y si lo hacemos un poco más grande para que pase más luz?



C/punto del objeto se proyecta como un pequeño circularito

pinhole más grande

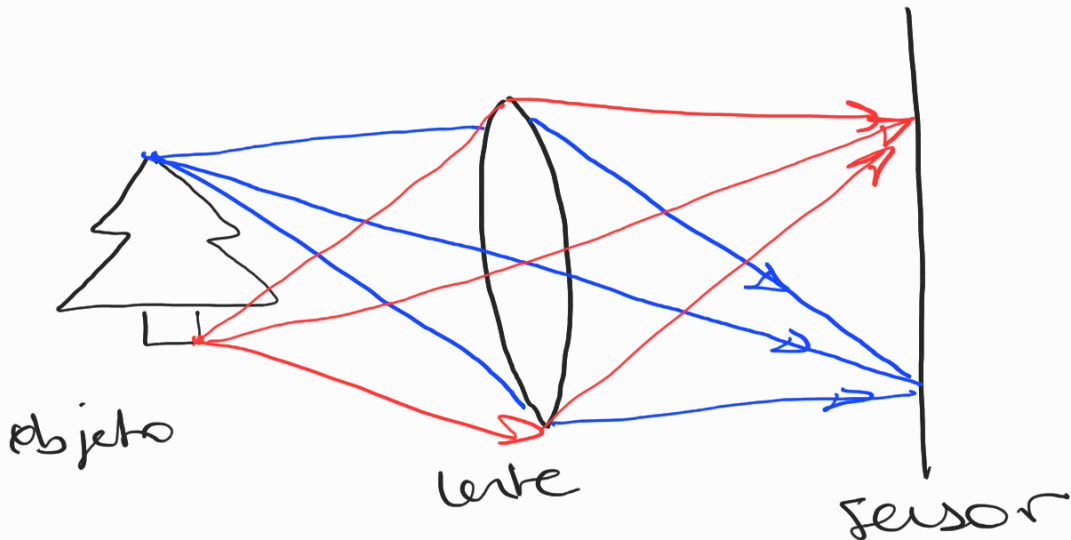
1) imagen se vuelve borrosa ✗

2) SNR alta ✓

(B)

¿Hay alguna forma de quedarnos con lo mejor de e/ situaciones A, B?

Casi, usando una lente...

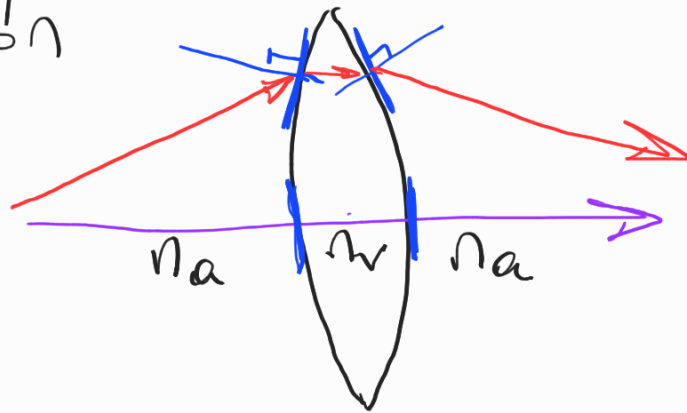


La lente direcciona los haces de rayos de los puntos del objeto al sensor

Obs.: una cámara fotográfica produce la misma proyección geométrica 2D sobre el sensor que la cámara oscura. La lente reemplaza al pinhole.

# ¿Cómo funciona una lente?

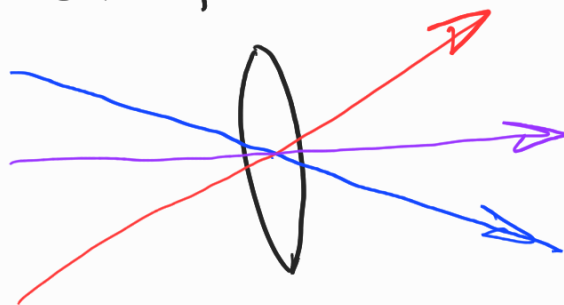
refracción



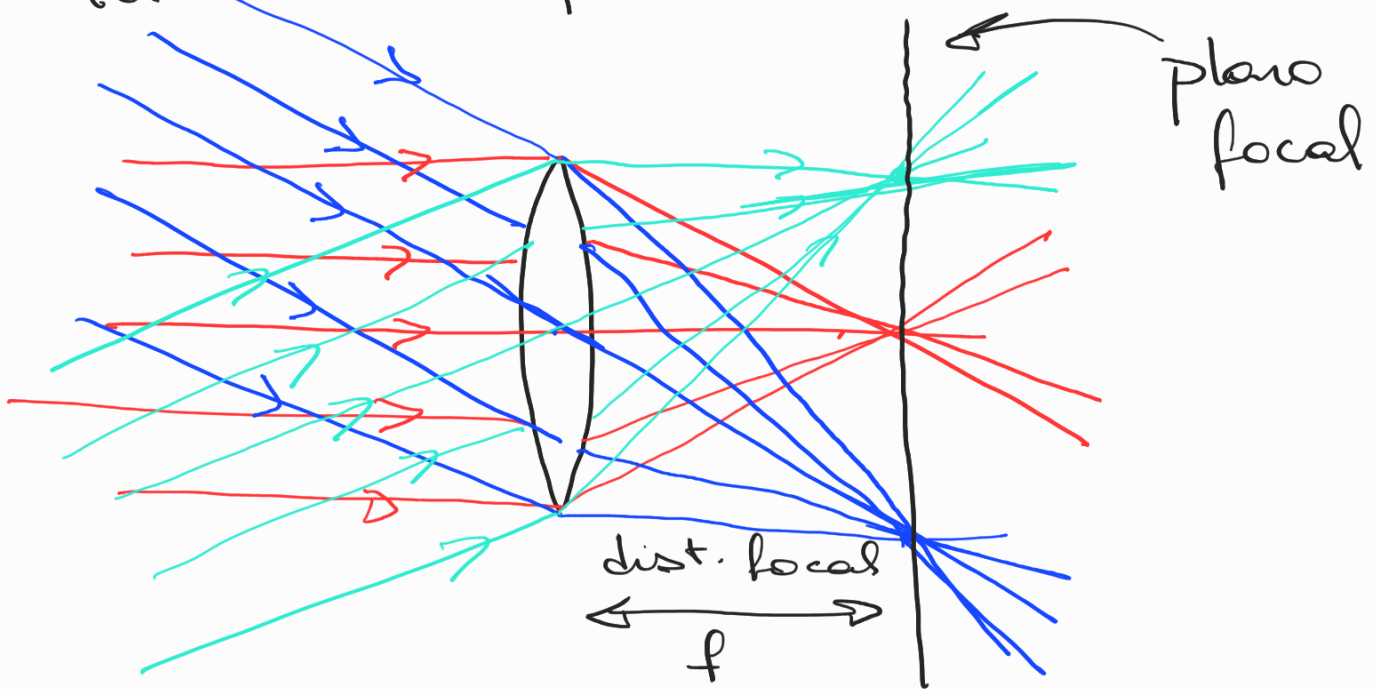
- al hacer la transición del aire al vidrio, la luz se desvía hacia la normal a la interfase
- al hacer la transición del vidrio al aire, la luz se desvía alejándose de la normal
- la luz que incide perpendicularmente a una superficie no se desvía.

## Simplificación: lente delgada

1) rayos que pasan a través del centro de la lente no se desvían (misma perspectiva que el pinhole)



2) los rayos paralelos convergen a un solo punto localizado en el plano focal (a distancia  $f$  de la lente)

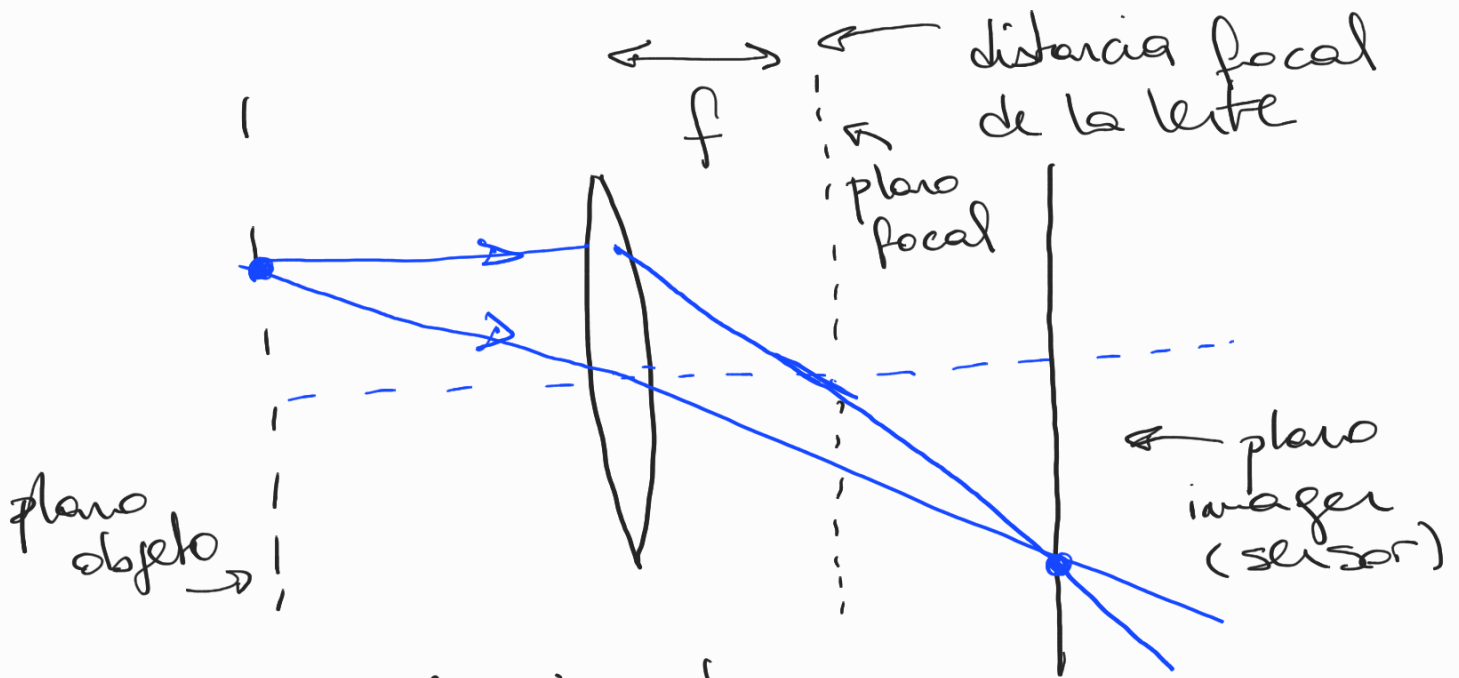


Construcción de trazado de rayos a través de una lente delgada (Gauss)

Consideremos un objeto emitiendo un haz de rayos. ¿Cómo se propagan a través de la lente?

1) trazar un rayo a través del centro

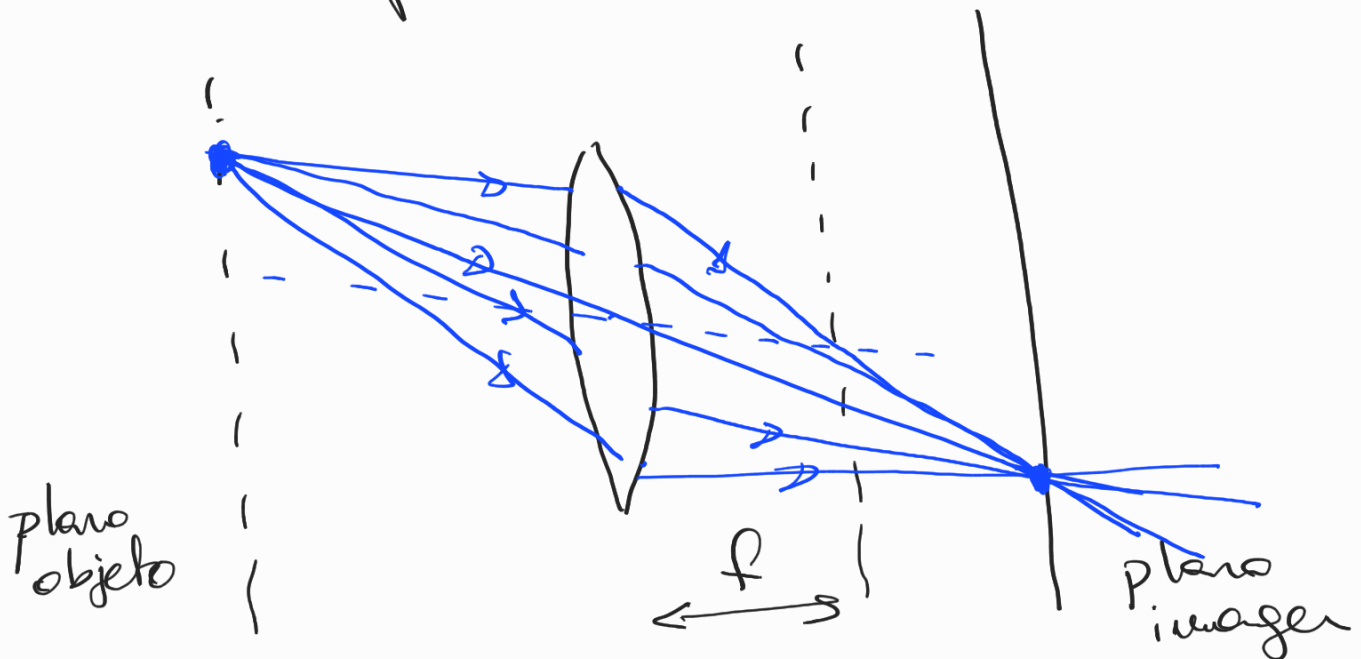




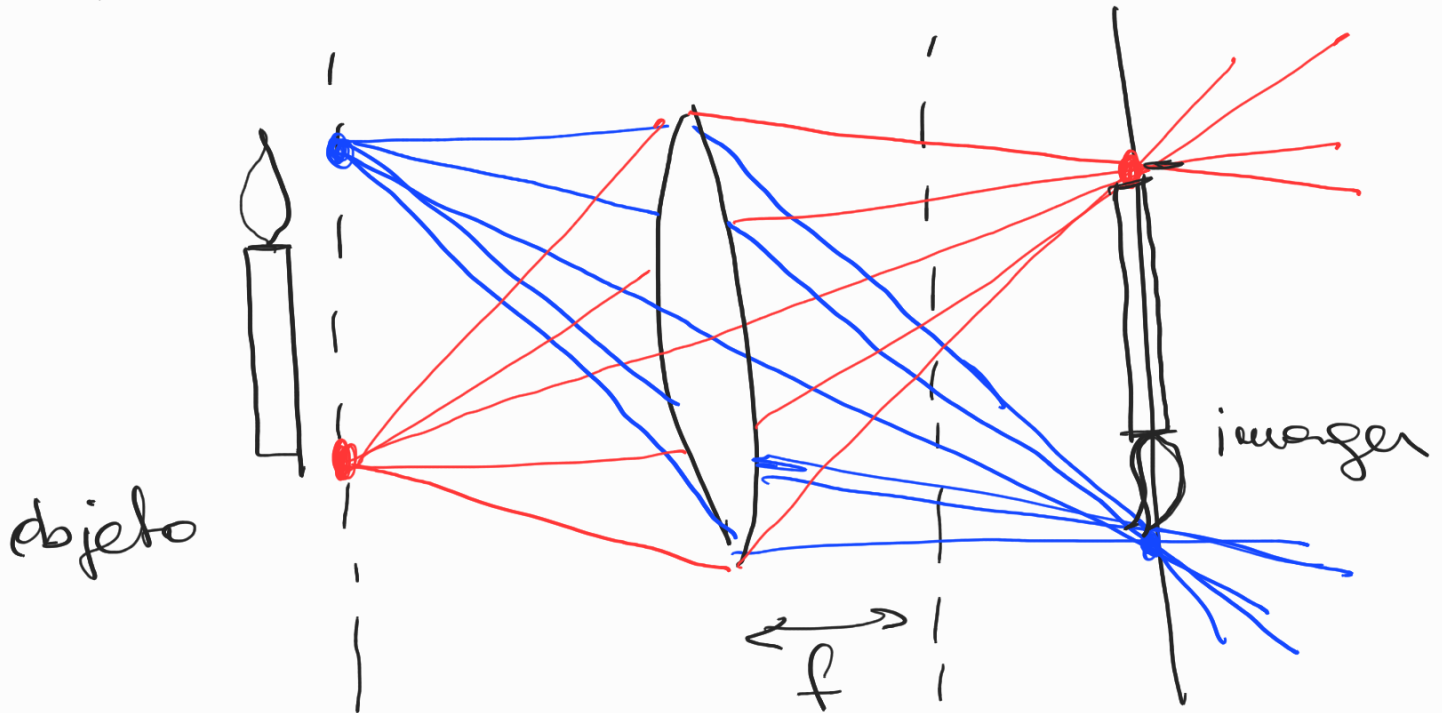
- 2) para cualquier otro rayo
- trazar la paralela a través del centro
  - conectar en el plano focal

### Propiedad de enfoque:

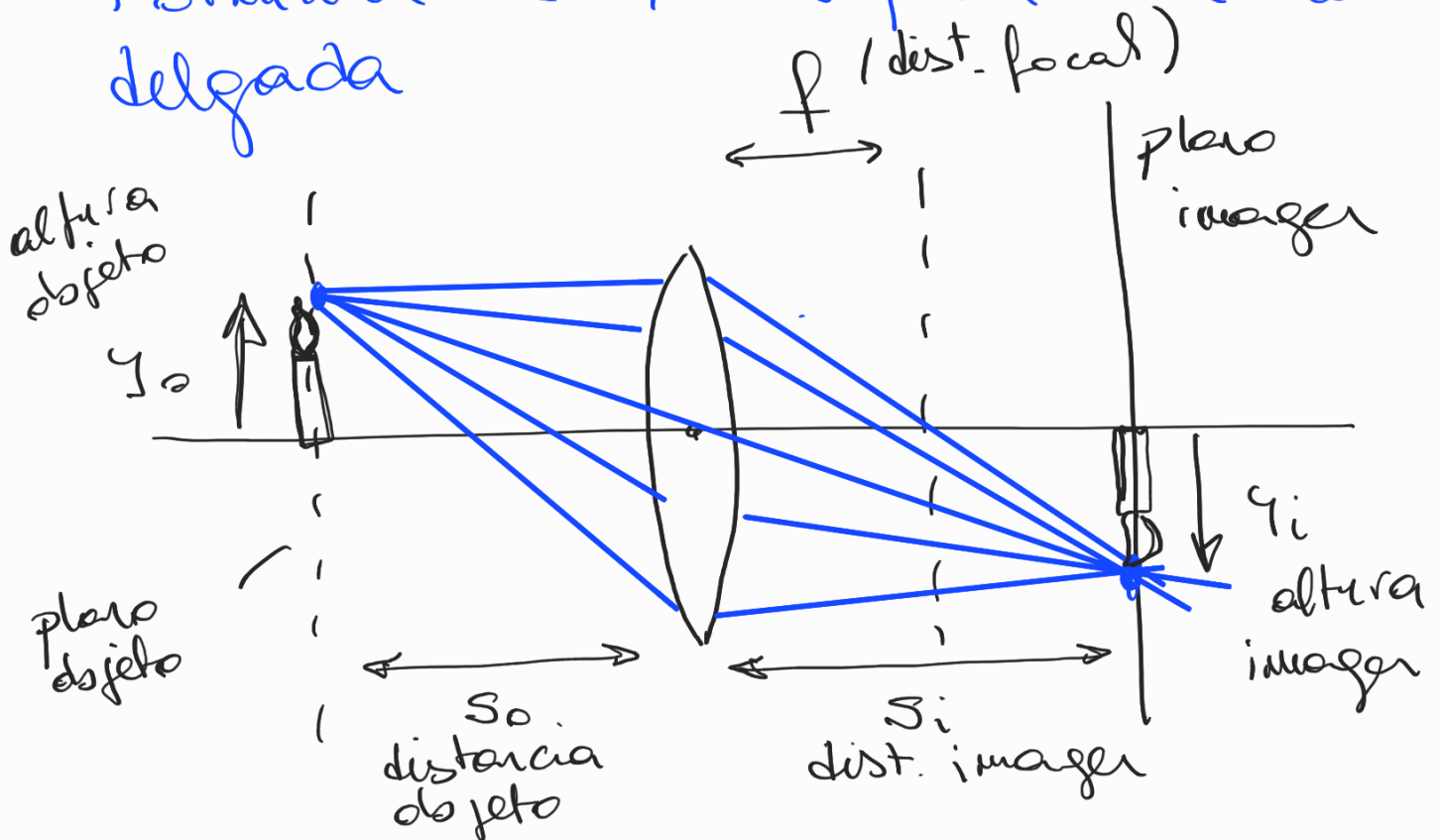
- 1) los rayos emitidos de un punto de un lado de la lente, convergen a otro punto del otro lado



2) haces de rayos emitidos desde un plano paralelo a la lente convergen (son enfocados) a un plano común (plano imagen) paralelo a la lente

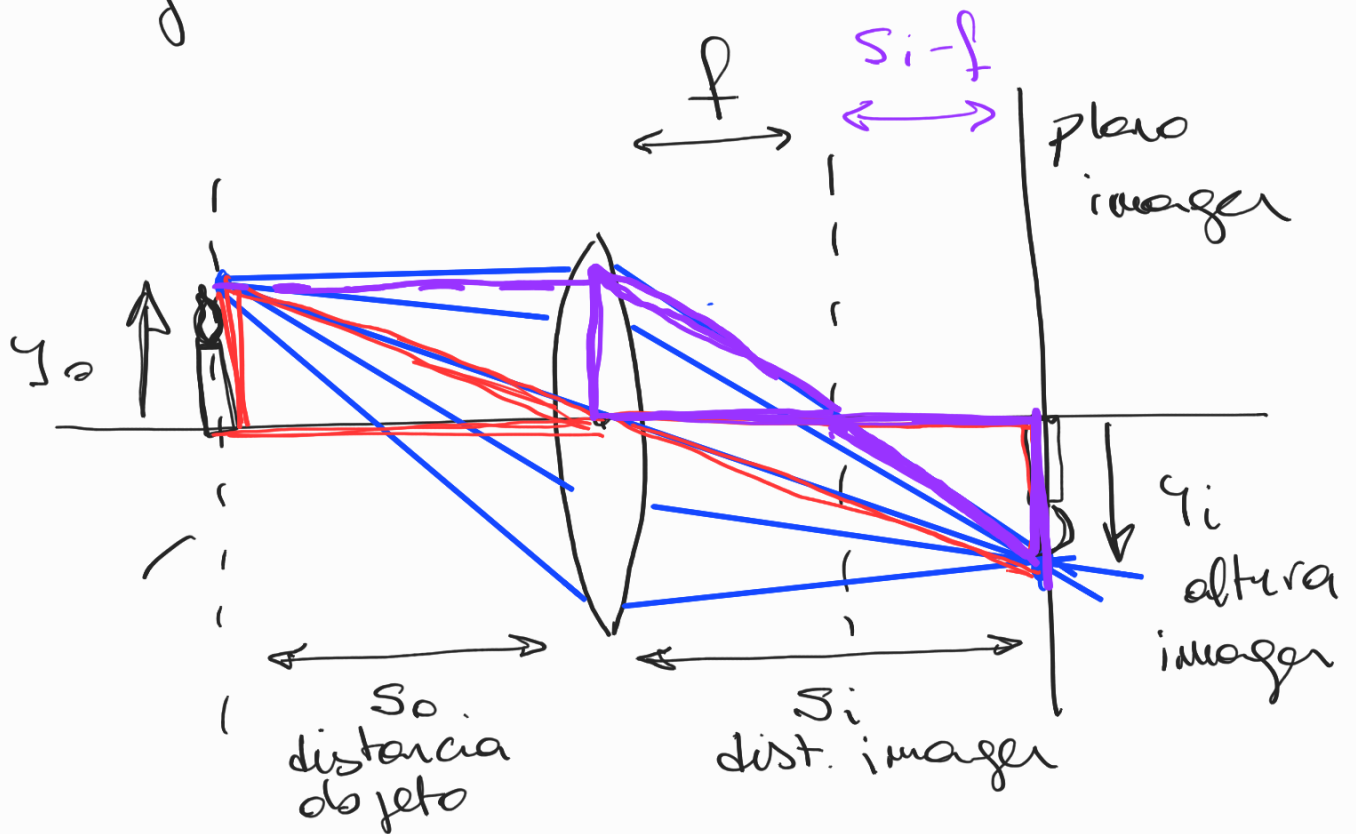


Fórmula de Gauss para una lente delgada



¿Cómo se relacionan las cantidades del espacio-objeto ( $s_o, y_o$ ) con las cantidades del espacio-imagen ( $s_i, y_i$ )?

Se puede inferir por triángulos semejantes:



$$\frac{s_o}{s_i} = \frac{y_o}{|y_i|}$$

$$\frac{y_o}{|y_i|} = \frac{f}{s_i - f}$$

$$\frac{s_o}{s_i} = \frac{f}{s_i - f}$$

↔

$$\boxed{\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}}$$

fórmula de Gauss para lentes delgadas

Magnificación (o aumento):

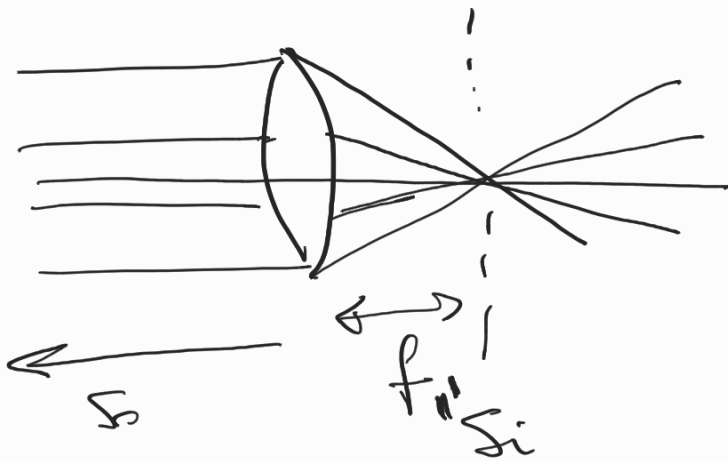
$$M_T = \frac{y_i}{y_o} = -\frac{s_i}{s_o}$$

el sign. de (-) significa que la imagen se forma invertida

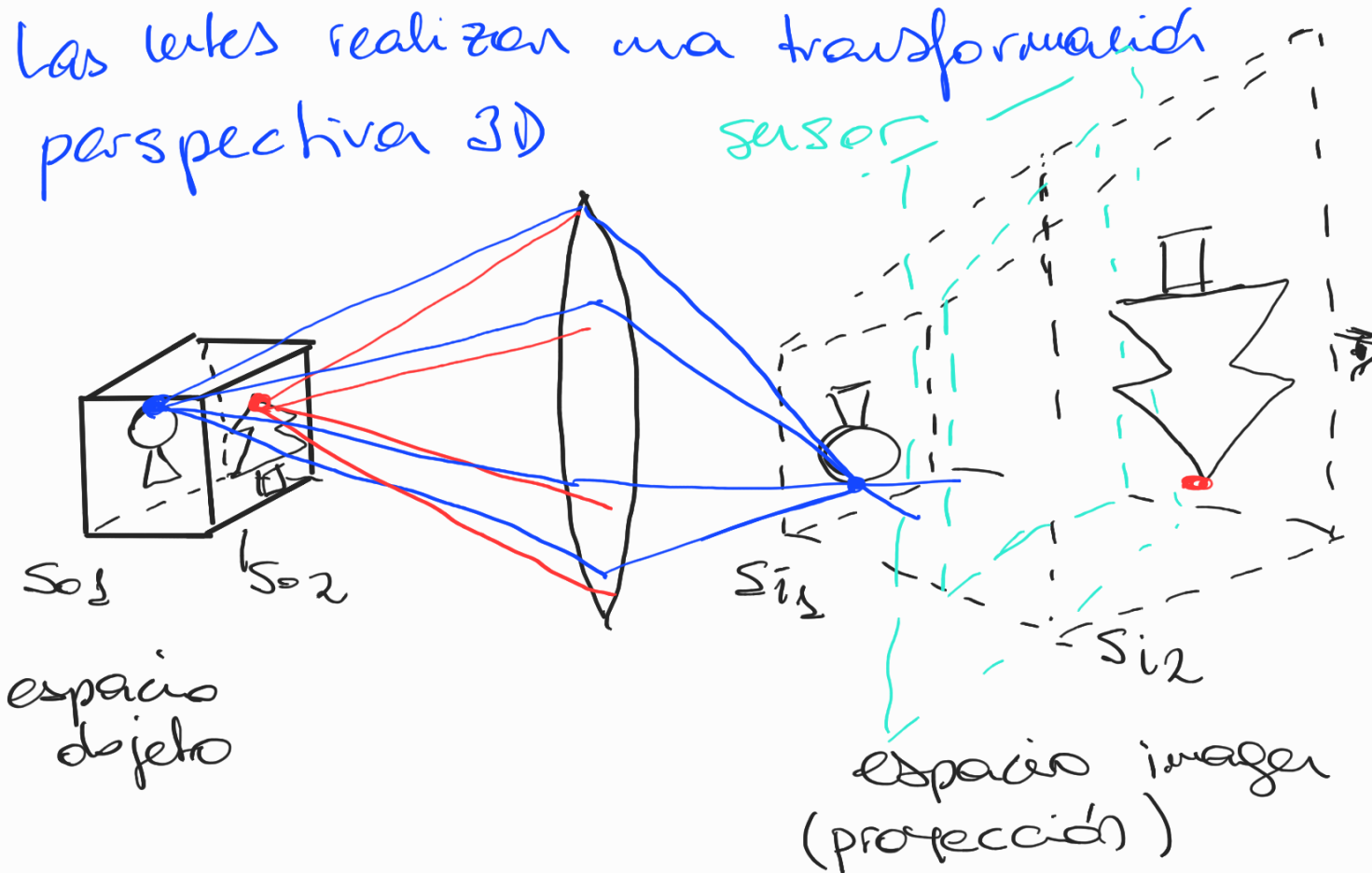
caso particular (ya lo habíamos mencionado):

$$s_o \rightarrow \infty \Rightarrow s_i = f$$

rayos paralelos convergen al foco



Las lentes realizan una transformación perspectiva 3D



Un cubo en el espacio objeto se transforma a través de una lente en una pirámide rectangular en el espacio imagen

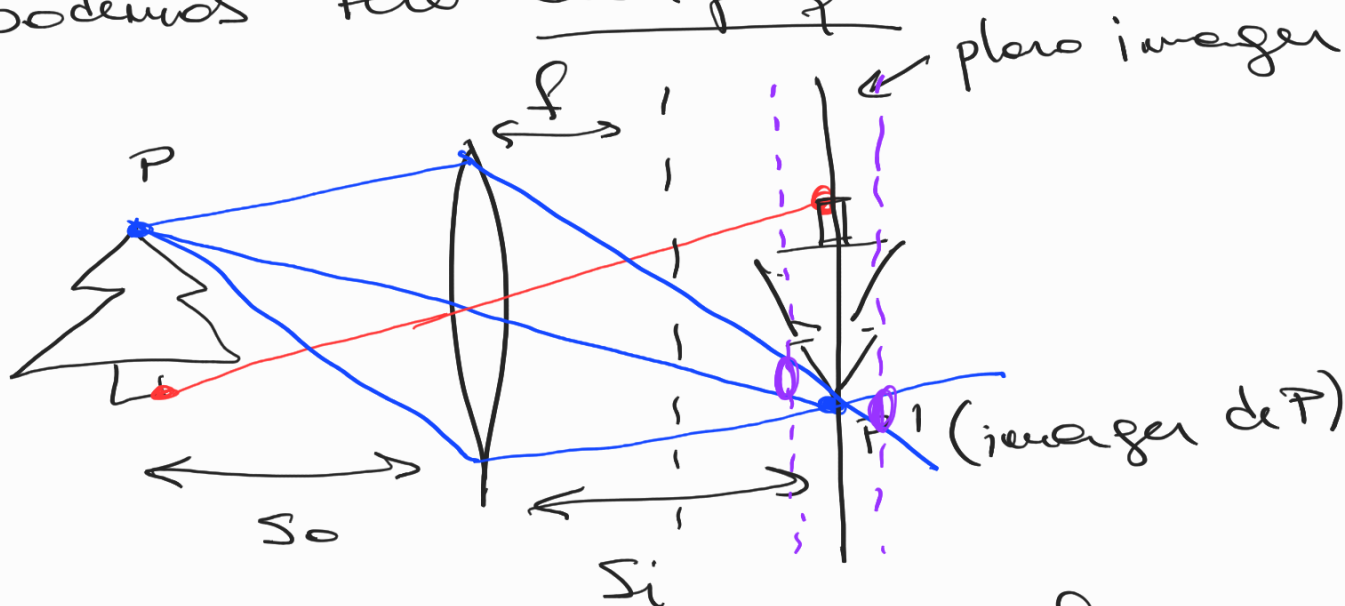
El sensor captura sólo un plano 2D

Entonces, usando una lente logramos simultáneamente:

- imagen nítida
- SNR alta

Pero ... nada es gratis ...

podemos tener desenfoque



⇒ la imagen del punto P está en foco si el sensor está a distancia  $s_i$  de la lente

⇒ si movemos el sensor a profundidad, la imagen del punto P comienza a verse borrosa (desenfoque)

