



Física de la Luz

Manipulación de la Luz

- **Óptica geométrica**
- Previa a las teorías sobre la naturaleza de la luz
- Basada en principios
 - comunes a las teorías corpuscular y ondulatoria
- Permitted el desarrollo de los instrumentos y herramientas ópticas
- Y describir el comportamiento óptico del ojo humano

Manipulación de la Luz

- **Óptica geométrica**
- Se desprecian las propiedades ondulatorias y corpusculares
 - luz se modela mediante rayos
 - dirección
 - sentido
- Frentes de onda
 - superficies \perp a los rayos

Manipulación de la Luz

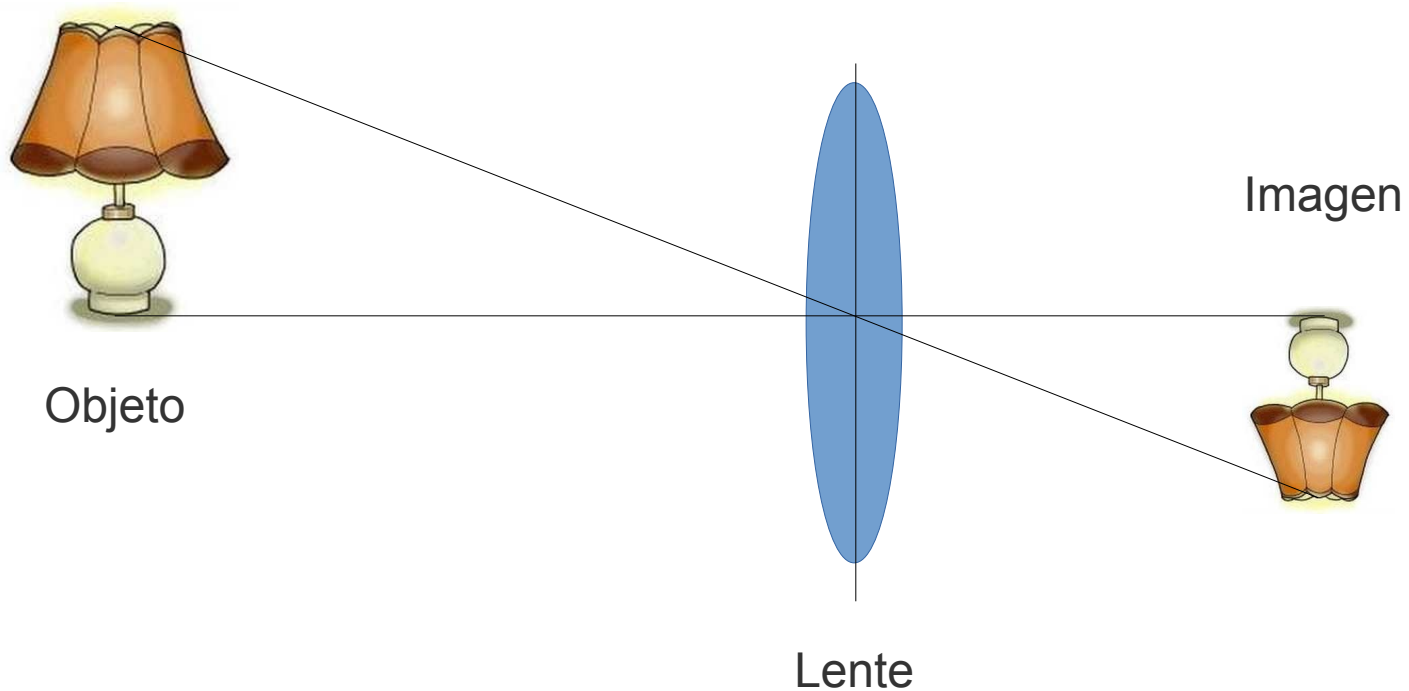
- **Óptica geométrica**
- Se desprecia la difracción
 - dimensiones de objetos $\gg \lambda$
- Se desprecia la dispersión
 - se trabaja como si la luz fuera monocromática (relevancia del vidrio óptico)
- Se desprecia la absorción
 - no hay pérdidas
- Medios homogéneos e isótropos

Manipulación de la Luz

- **Óptica geométrica**
- Caminos reversibles
- Leyes de reflexión y refracción
 - permiten predecir la dirección de la luz
- Elementos
 - Objeto, refractores o espejos, imagen

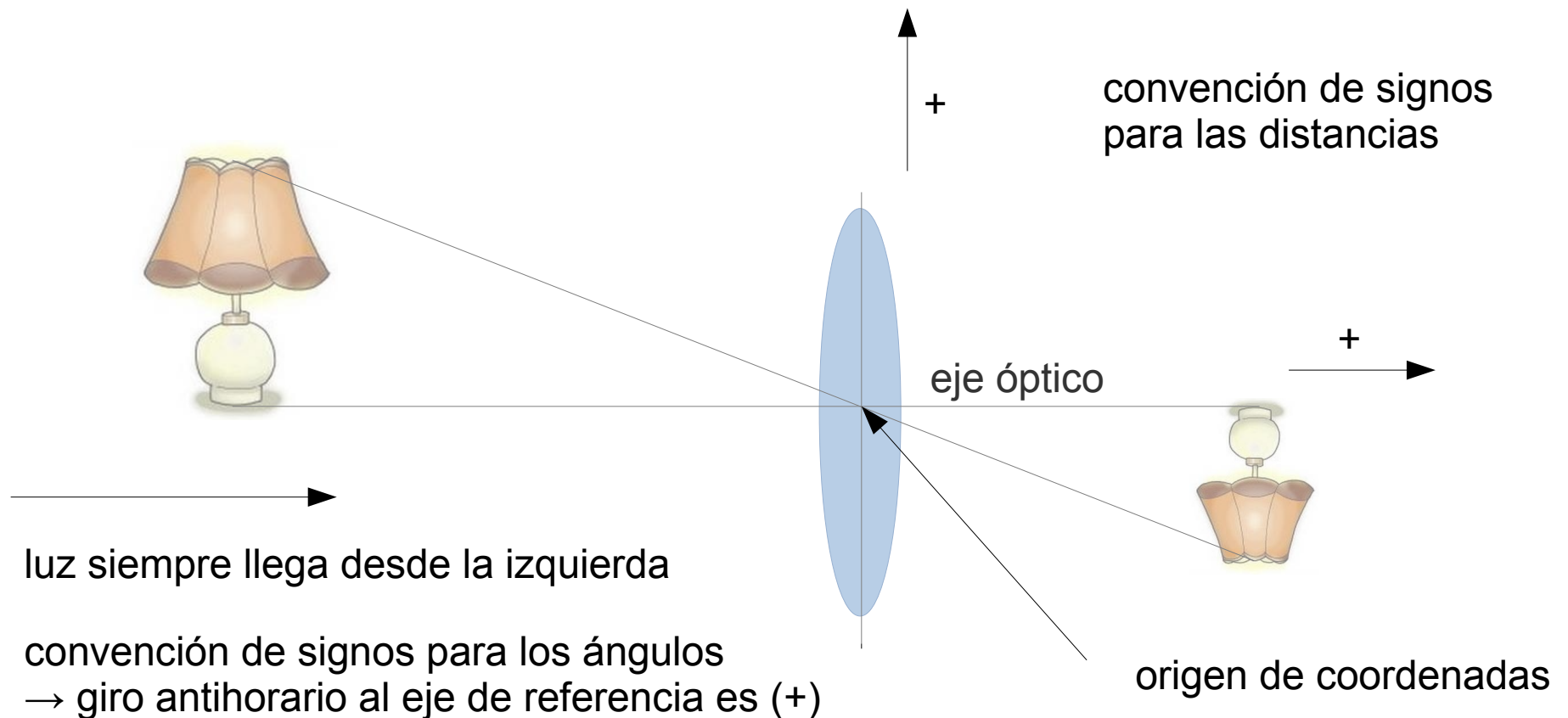
Manipulación de la Luz

- **Óptica geométrica**
- Ej.:



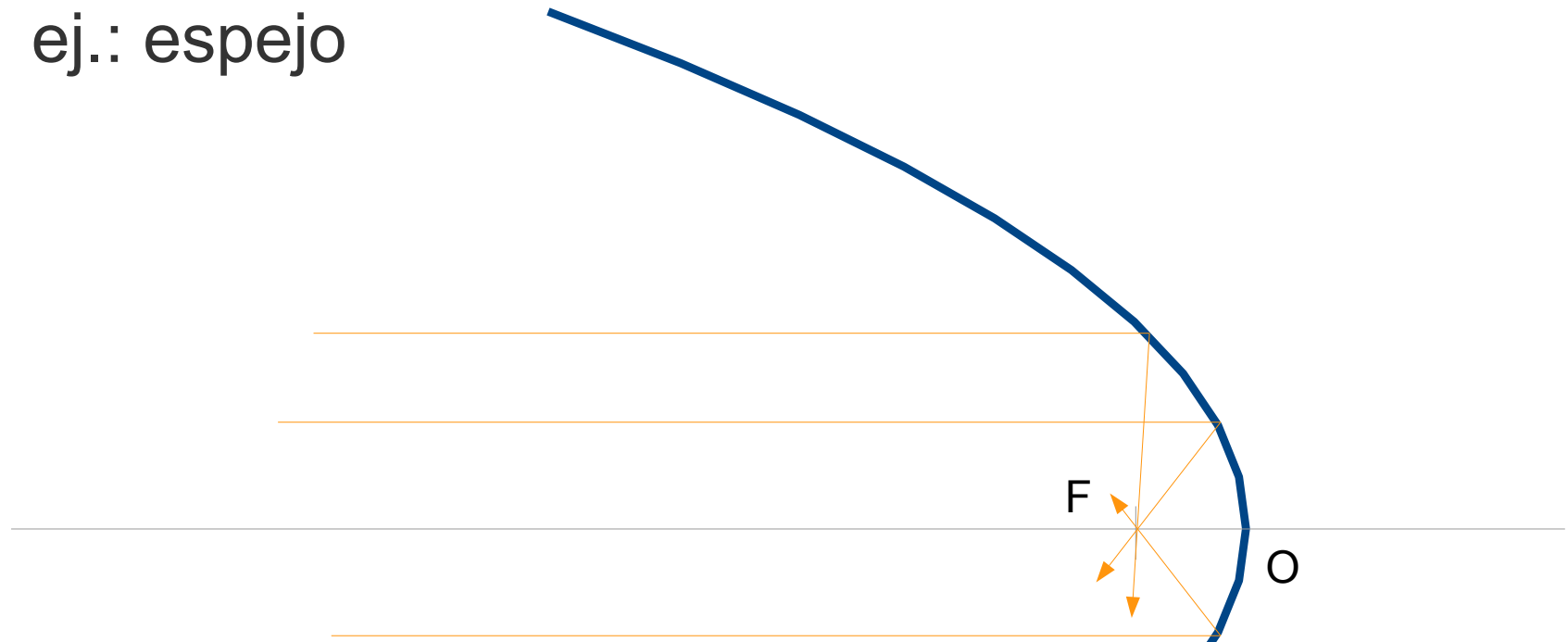
Manipulación de la Luz

- Sistema de coordenadas y convención de signos
 - normativa DIN



Manipulación de la Luz

- Superficies parabólicas
 - ej.: espejo

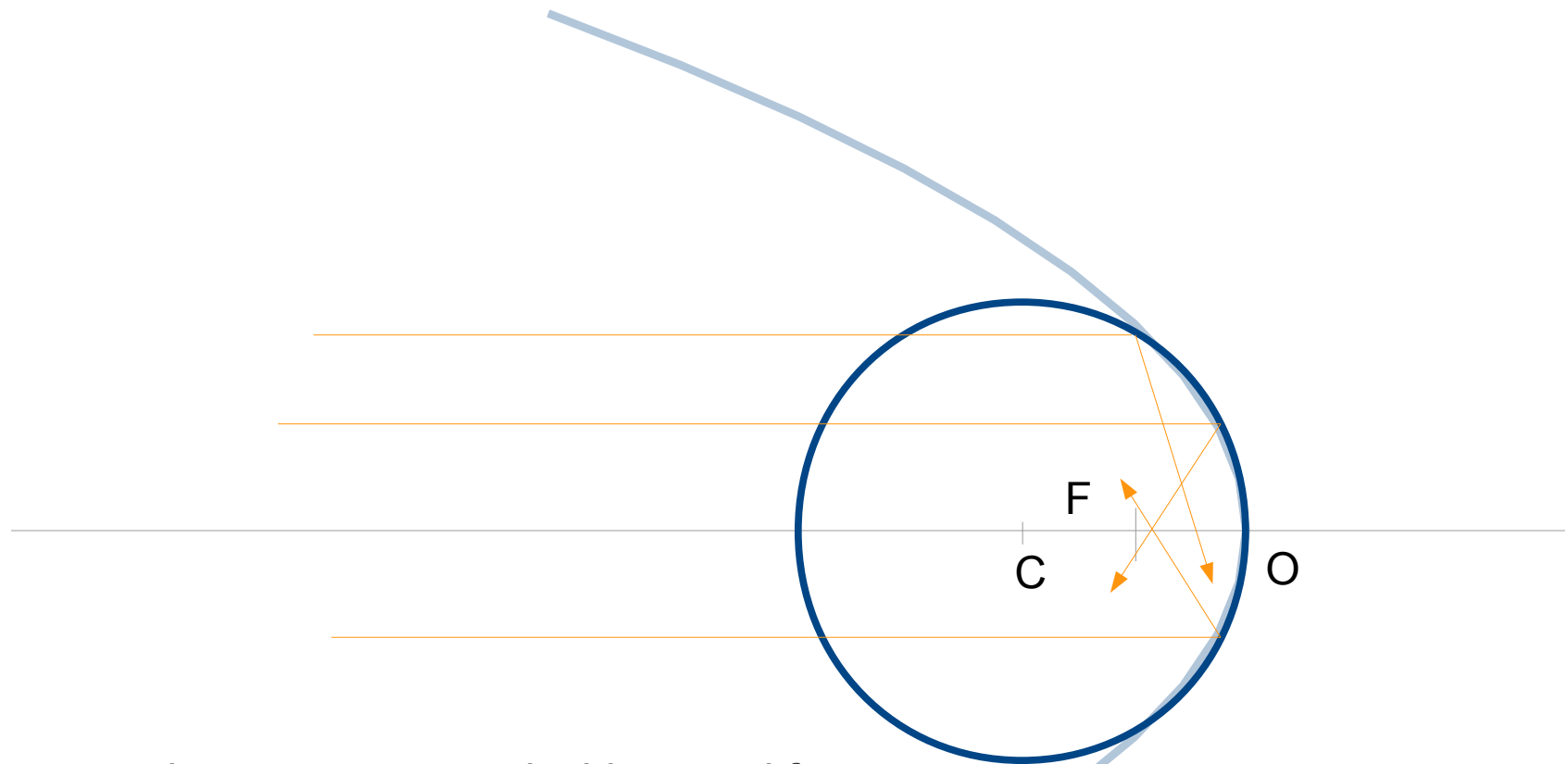


todos los rayos que inciden paralelamente
pasan por el foco de la parábola

¡fabricación muy costosa!

Manipulación de la Luz

- Se aproximan por superficies esféricas



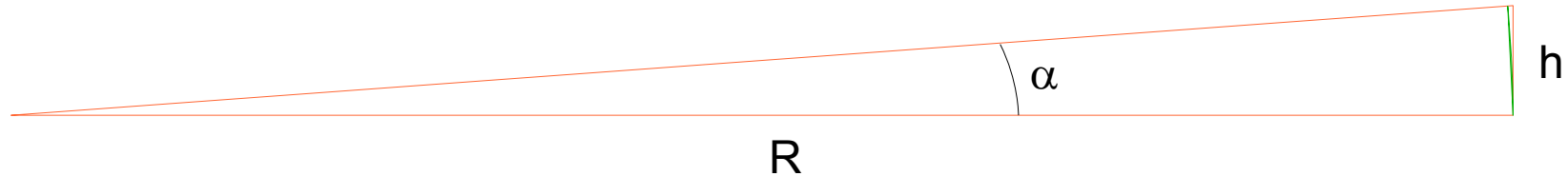
los rayos ya no coinciden en el foco
→ aberración esférica

Manipulación de la Luz

- Rayo sobre el eje óptico
 - pasa por el foco al regreso
 - no hay aberración
- La aberración \uparrow al alejarse del eje
- En un entorno del eje
 - esfera aproxima bien a la parábola
- Aproximación paraxial

Manipulación de la Luz

- Aproximación paraxial
 - máximo 10° apartados del eje óptico
 - las distancias sobre el trocito de esfera son pequeñas frente a su radio

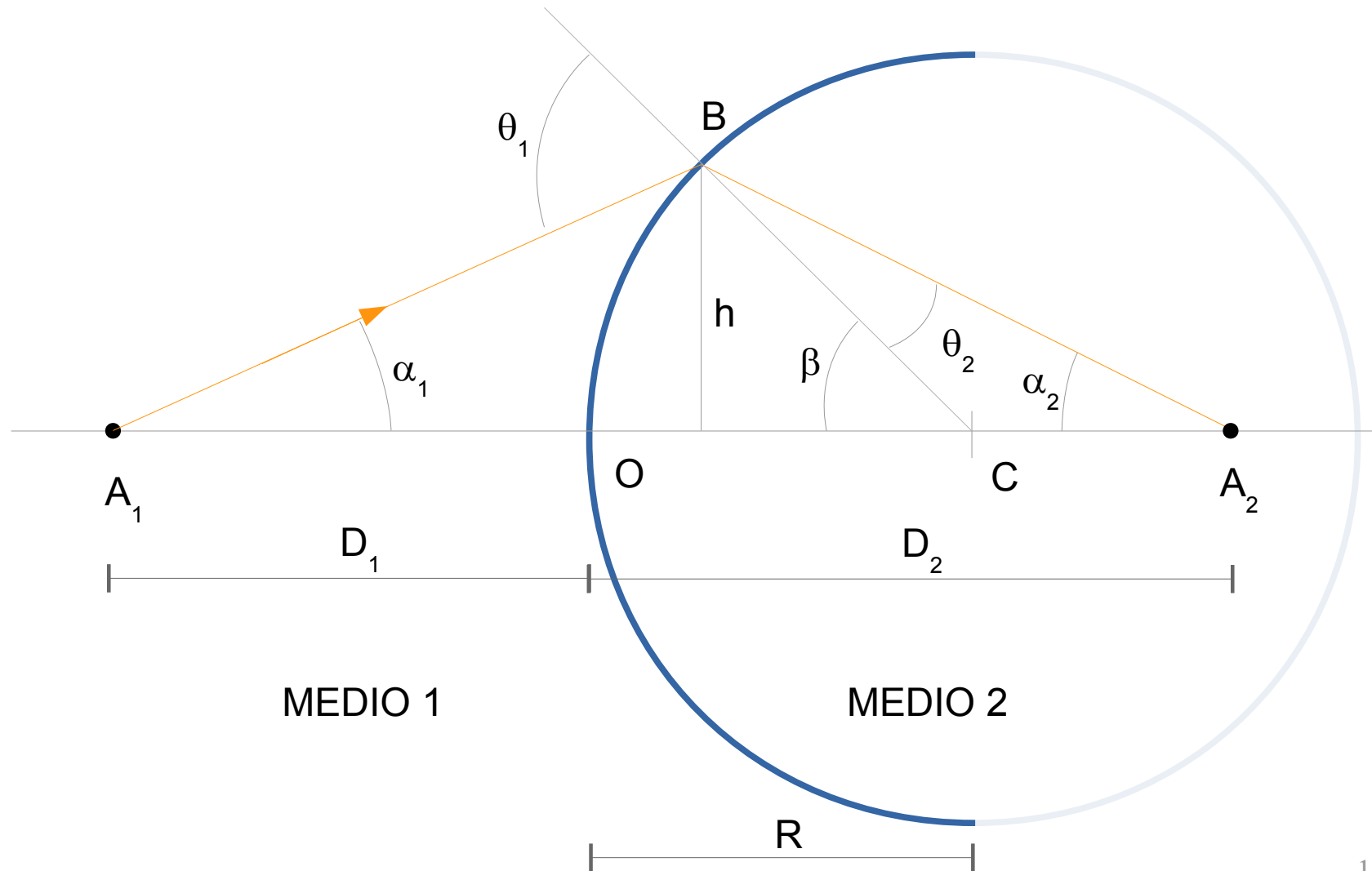


- h se puede aproximar por el **trozo de circunferencia** correspondiente a α
- entonces

$$\alpha \approx \text{tg } \alpha = \frac{h}{R} \approx \text{sen } \alpha$$

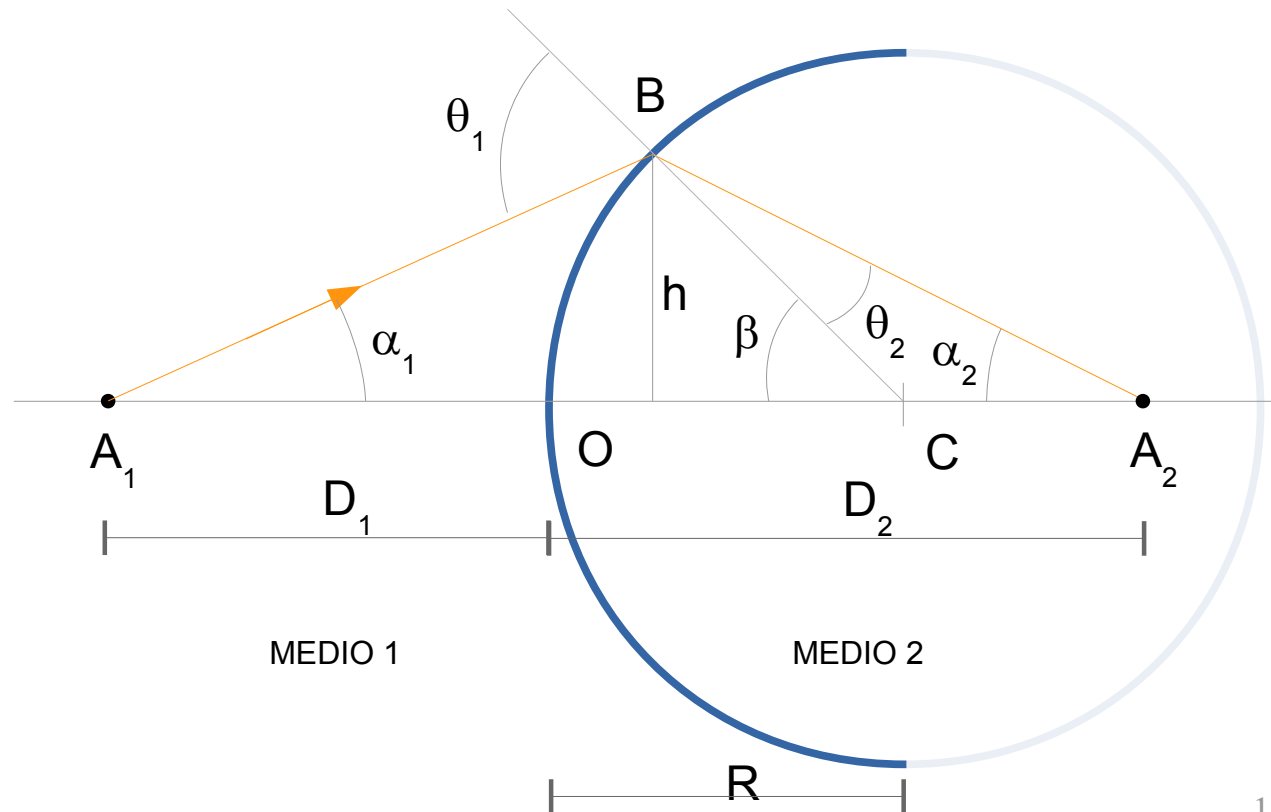
Manipulación de la Luz

- Refractor esférico



Manipulación de la Luz

- Refractor esférico
- Su ecuación relaciona D_1 y D_2 con los índices de refracción de ambos medios



Manipulación de la Luz

- Refractor esférico

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\theta_1 = -\alpha_1 + \beta$$

$$\beta = \theta_2 + \alpha_2$$

$$\sin \theta_1 \approx \theta_1 \text{ y } \sin \theta_2 \approx \theta_2$$

$$\rightarrow n_1 (-\alpha_1 + \beta) = n_2 (\beta - \alpha_2)$$

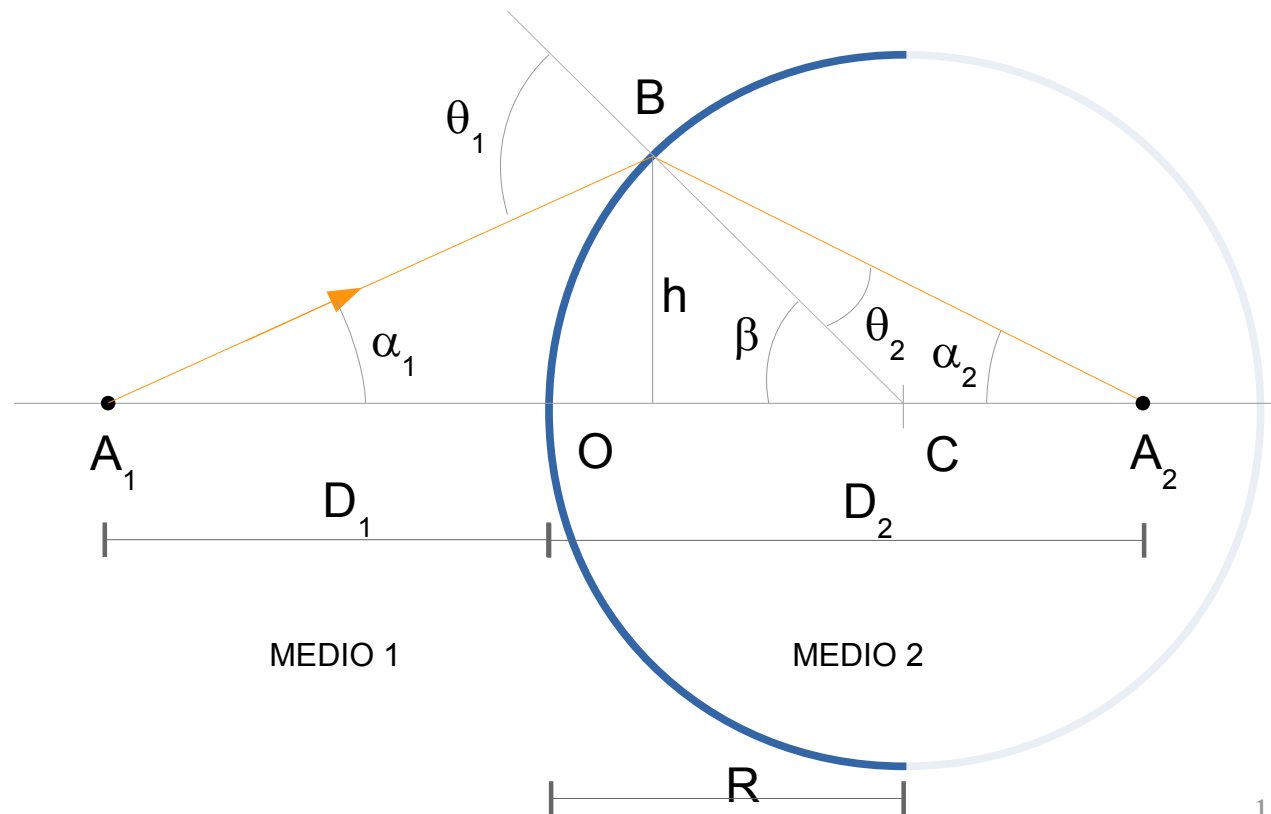
pero

$$\alpha_1 \approx \frac{h}{D_1} \quad \alpha_2 \approx \frac{h}{D_2} \quad \beta \approx \frac{h}{R}$$

$$\frac{n_2}{D_2} - \frac{n_1}{D_1} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

aproximación paraxial

recordar que h, θ_1, θ_2 muy pequeños \rightarrow solo se representan exagerados para poder apreciarlos

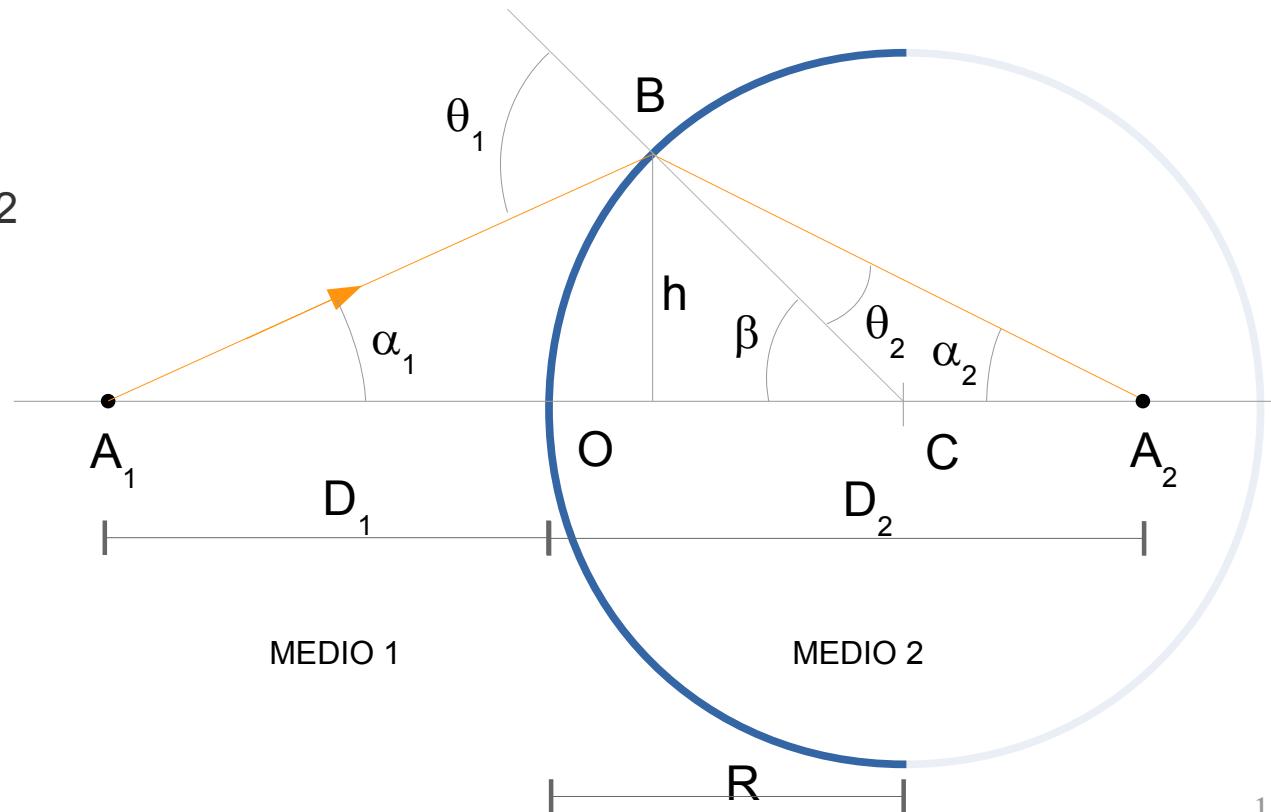


Manipulación de la Luz

- Ecuación del refractor esférico

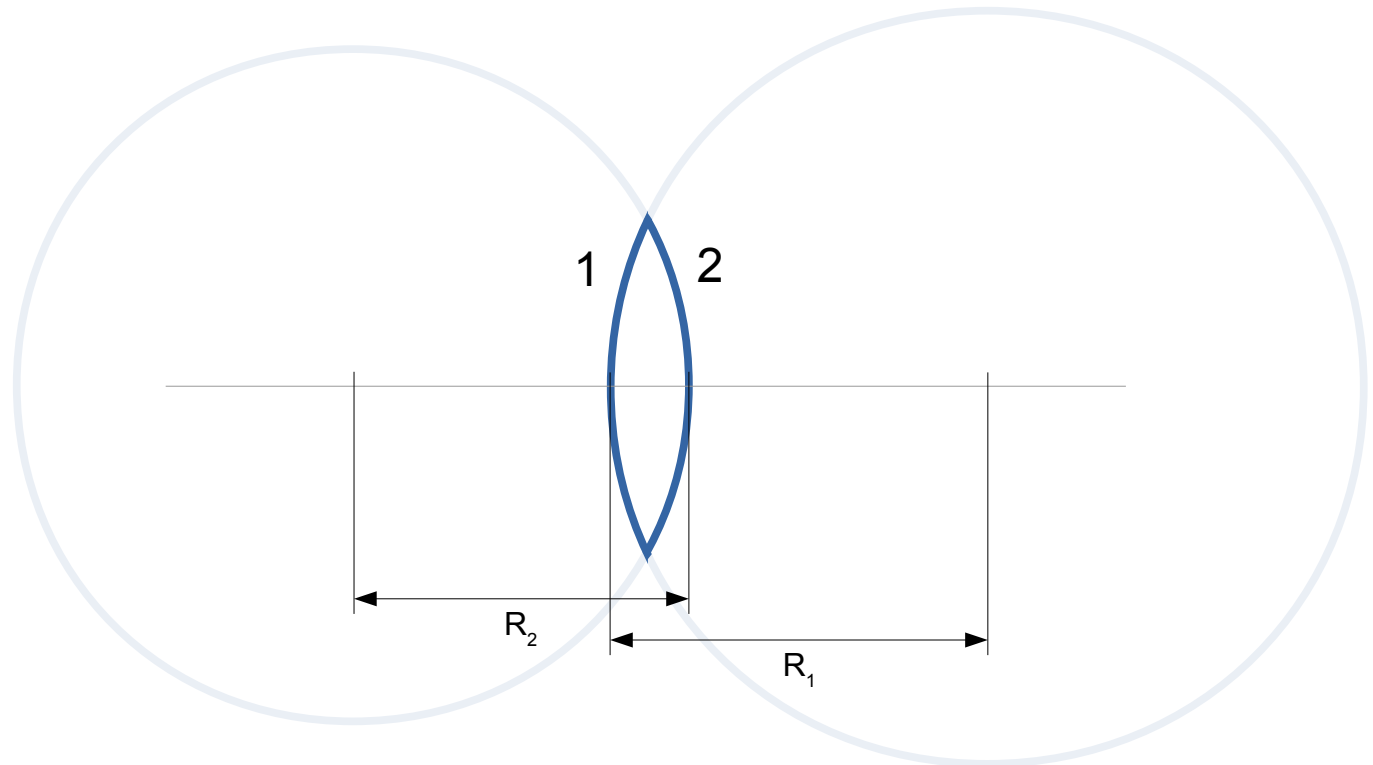
$$\frac{n_2}{D_2} - \frac{n_1}{D_1} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

- Relaciona D_1 y D_2



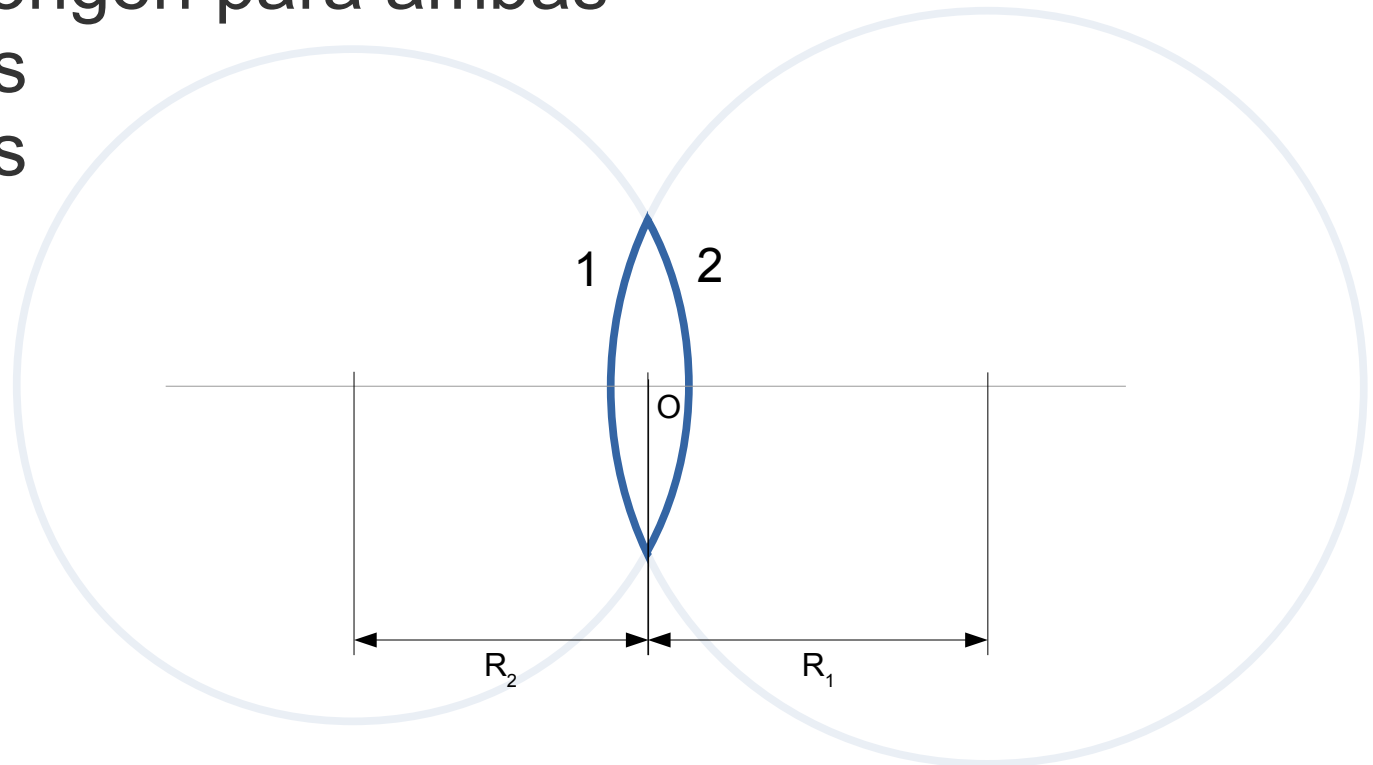
Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Espesor despreciable frente al radio
- Ejemplo:
- Biconvexa
 - Cara 1
 - $R_1 > 0$
 - Cara 2
 - $R_2 < 0$



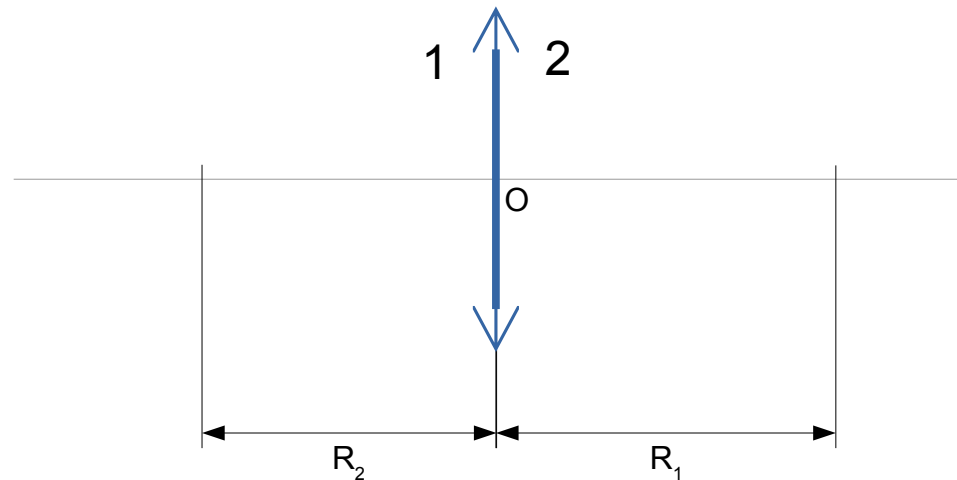
Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Como se desprecia su espesor
 - Un único origen para ambas superficies refractoras
 - Radios se miden desde el origen



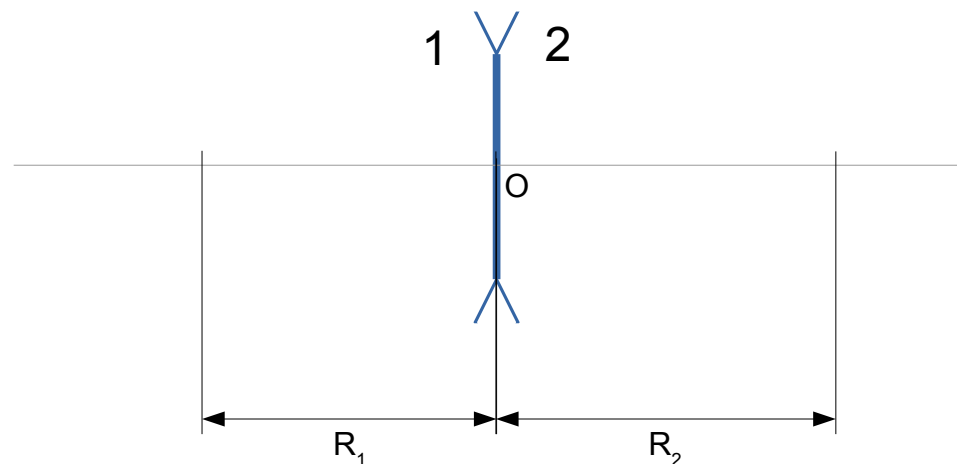
Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Suele representarse con una línea
 - Lente divergente (bicóncava)



Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Lente convergente (bicónvexa)
 - ¿Cómo son los signos de R_1 y R_2 ?
 - $R_1 < 0$
 - $R_2 > 0$



Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Una de las caras también puede ser plana
- O ambas caras tener igual signo para los radios
- Ejemplos:
 - plano-cóncava $\rightarrow R_1 = \infty$, $R_2 > 0$ |(
– plano-convexa $\rightarrow R_1 = \infty$, $R_2 < 0$ |)
– menisco-cóncava \rightarrow si $R_1 > 0$, $R_2 > 0 \rightarrow R_1 > R_2$ ((
– menisco-convexa \rightarrow si $R_1 > 0$, $R_2 > 0 \rightarrow R_1 < R_2$ ((

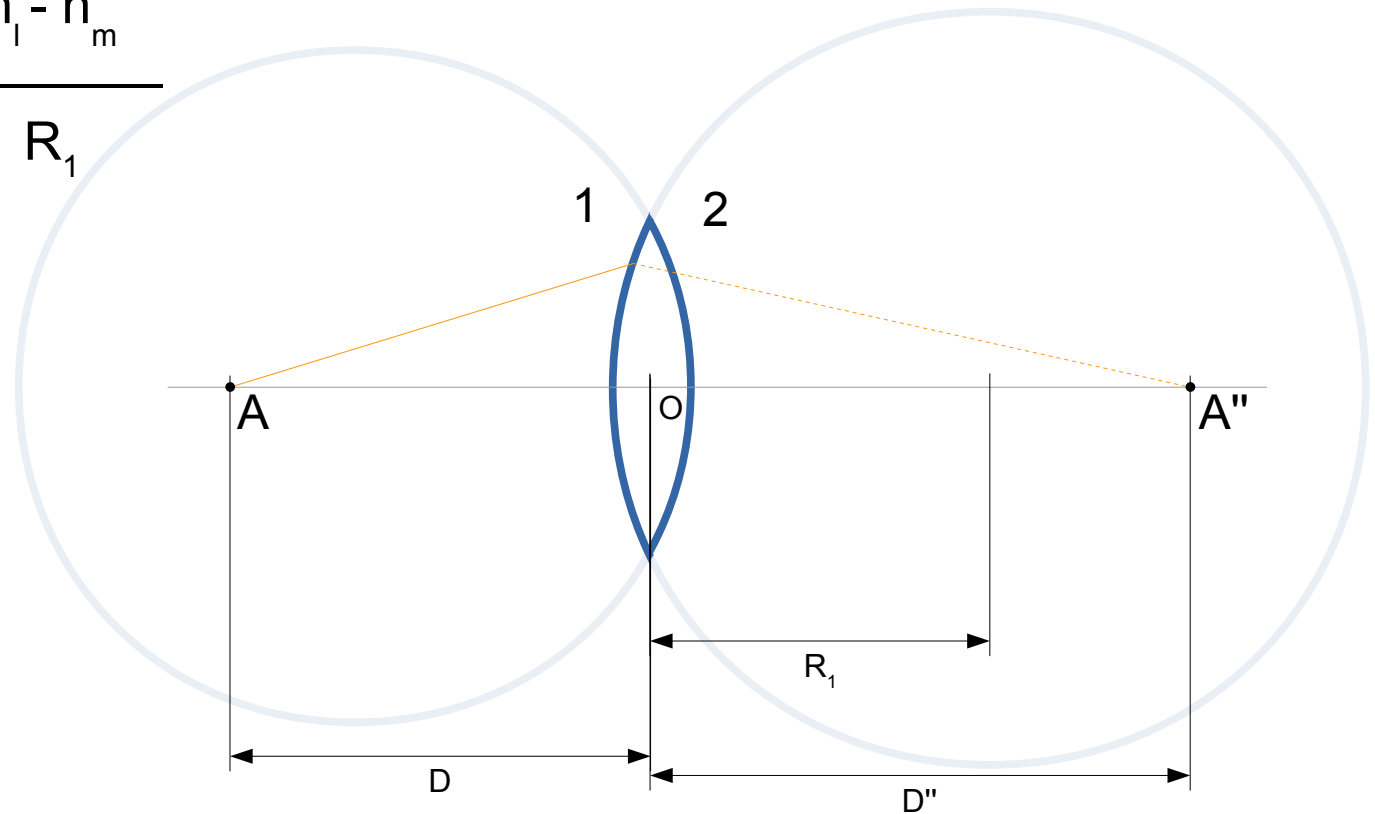
Manipulación de la Luz

- Ecuación de las lentes delgadas
- Ecuación para el refractor 1

$$\frac{n_l}{D''} - \frac{n_m}{D} = \frac{n_l - n_m}{R_1}$$

n_m índice de refracción del medio

n_l índice de refracción del lente

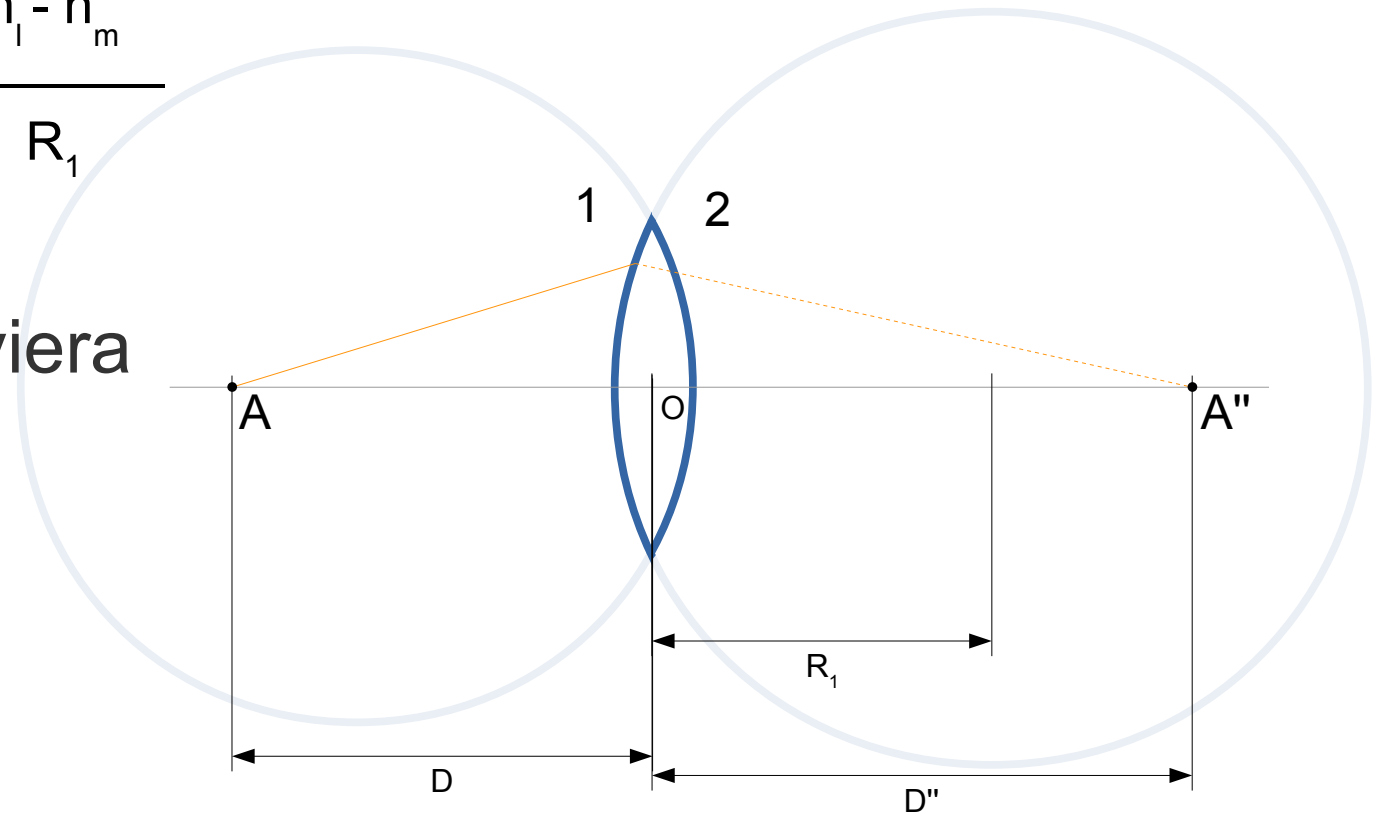


Manipulación de la Luz

- Ecuación de las lentes delgadas
- Ecuación para el refractor 1

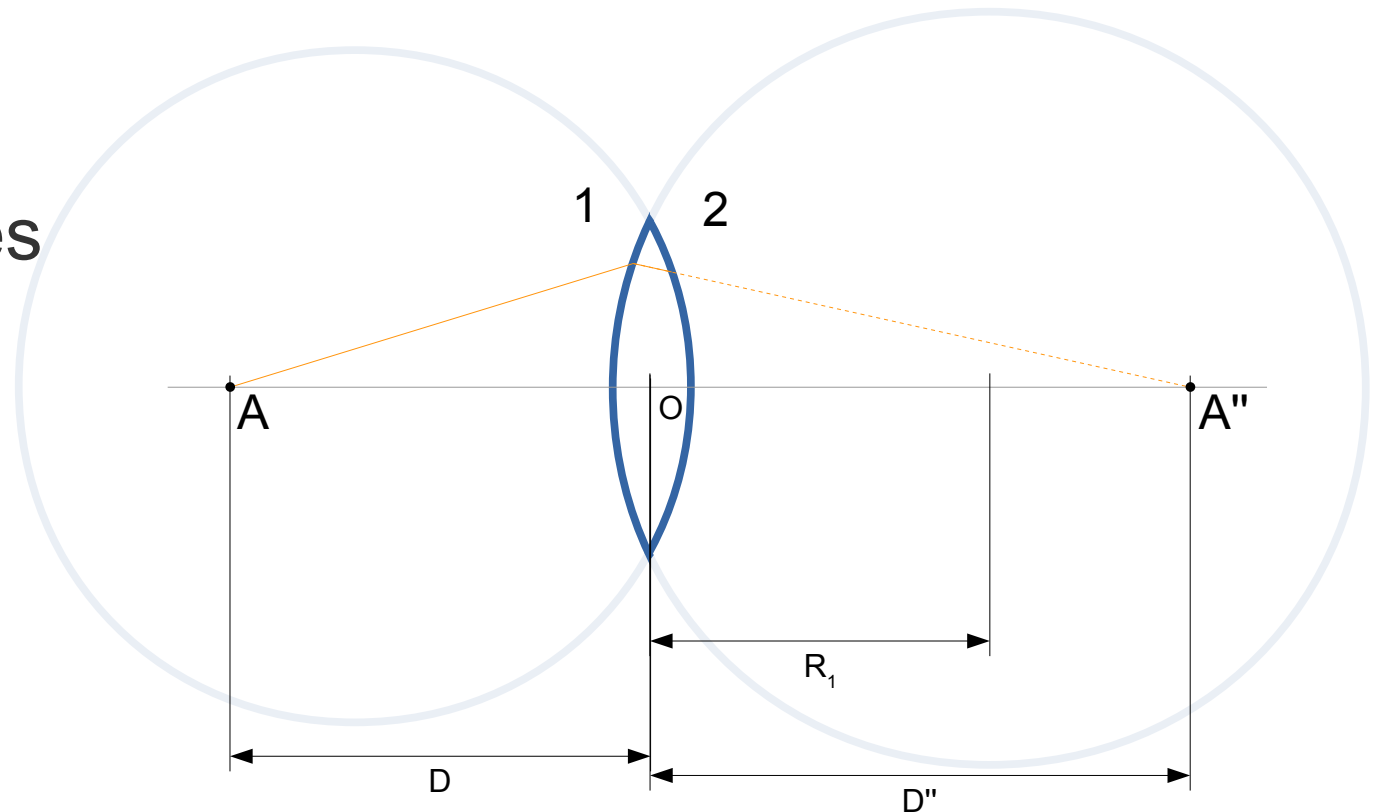
$$\frac{n_l}{D''} - \frac{n_m}{D} = \frac{n_l - n_m}{R_1}$$

- Si solo estuviera la cara 1 se formaría la imagen A''



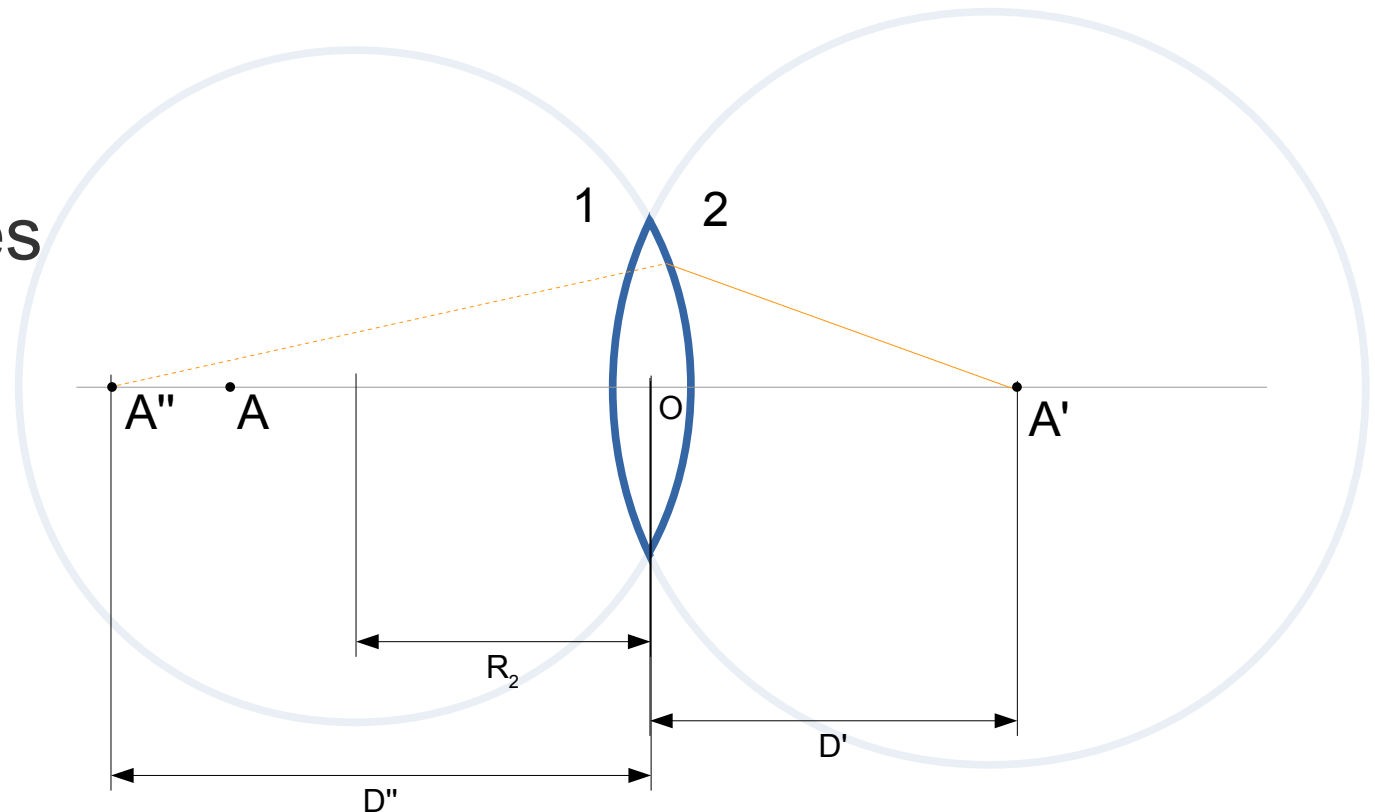
Manipulación de la Luz

- Ecuación de las lentes delgadas
- A'' actúa como imagen (en el interior del medio del lente) al atravesar el refractor 2
- Al escribir la ecuación del refractor 2, es como si A'' estuviera del lado de A



Manipulación de la Luz

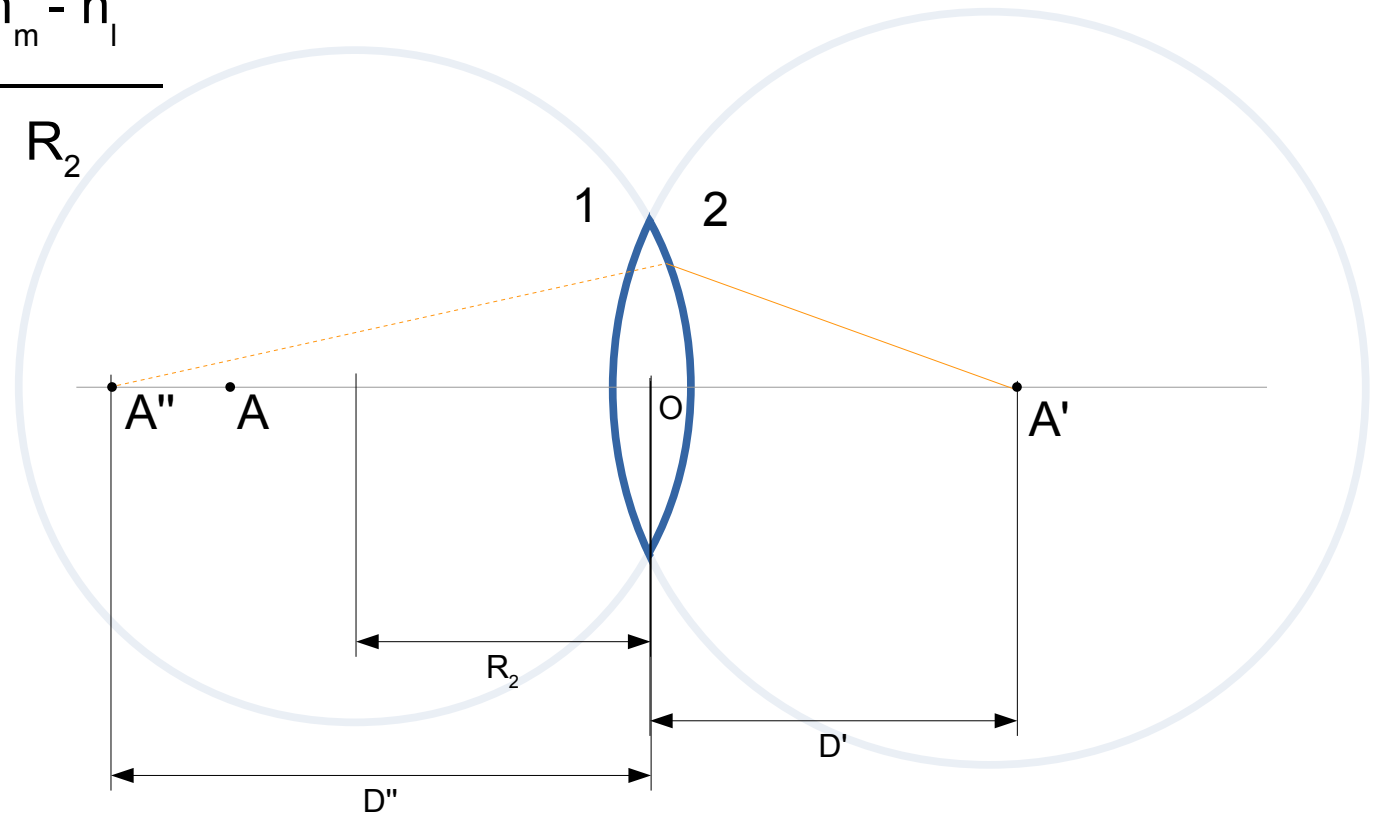
- Ecuación de las lentes delgadas
- A'' actúa como imagen (en el interior del medio del lente) al atravesar el refractor 2
- Al escribir la ecuación del refractor 2, es como si A'' estuviera del lado de A



Manipulación de la Luz

- Ecuación de las lentes delgadas
- Ecuación para el refractor 2

$$\frac{n_m}{D'} - \frac{n_l}{D''} = \frac{n_m - n_l}{R_2}$$



Manipulación de la Luz

- Ecuación de las lentes delgadas
- Sumando las ecuaciones obtenidas

$$\frac{n_l}{D''} - \frac{n_m}{D} = \frac{n_l - n_m}{R_1} \qquad \frac{n_m}{D'} - \frac{n_l}{D''} = \frac{n_m - n_l}{R_2}$$

- Se llega a la ecuación buscada

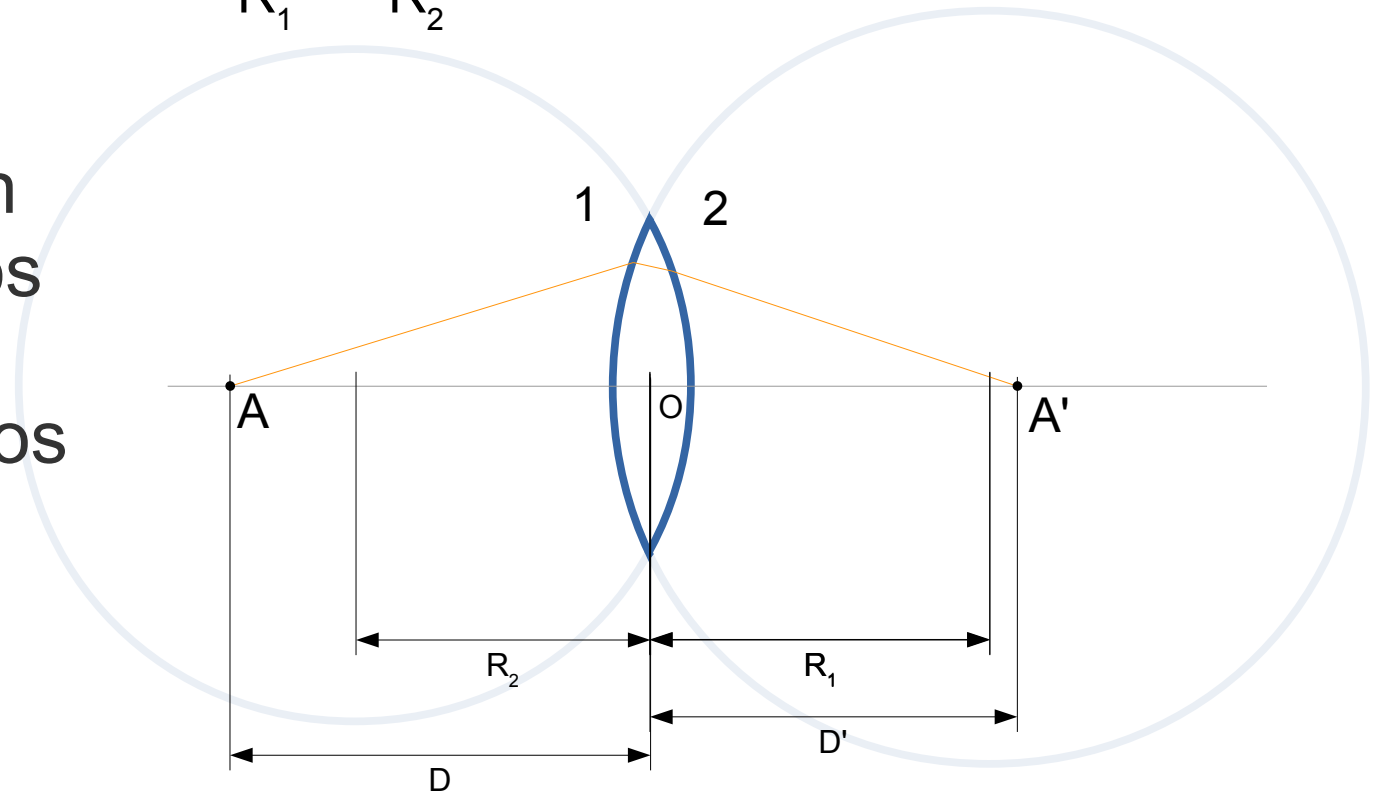
$$\frac{n_m}{D'} - \frac{n_m}{D} = (n_l - n_m) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Manipulación de la Luz

- Ecuación de las lentes delgadas

$$\frac{n_m}{D'} - \frac{n_m}{D} = (n_l - n_m) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

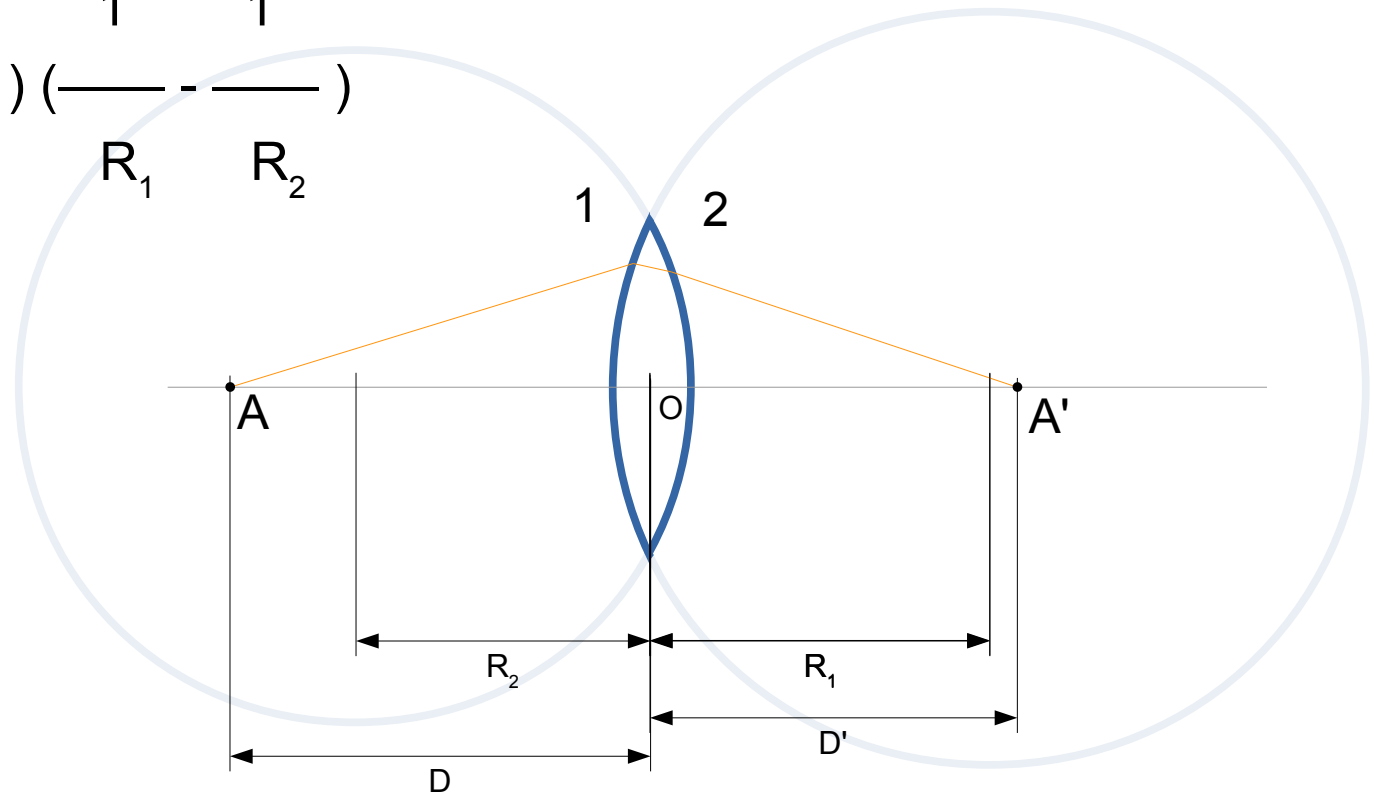
- Relación de distancias en función de los radios de curvatura y los índices de refracción



Manipulación de la Luz

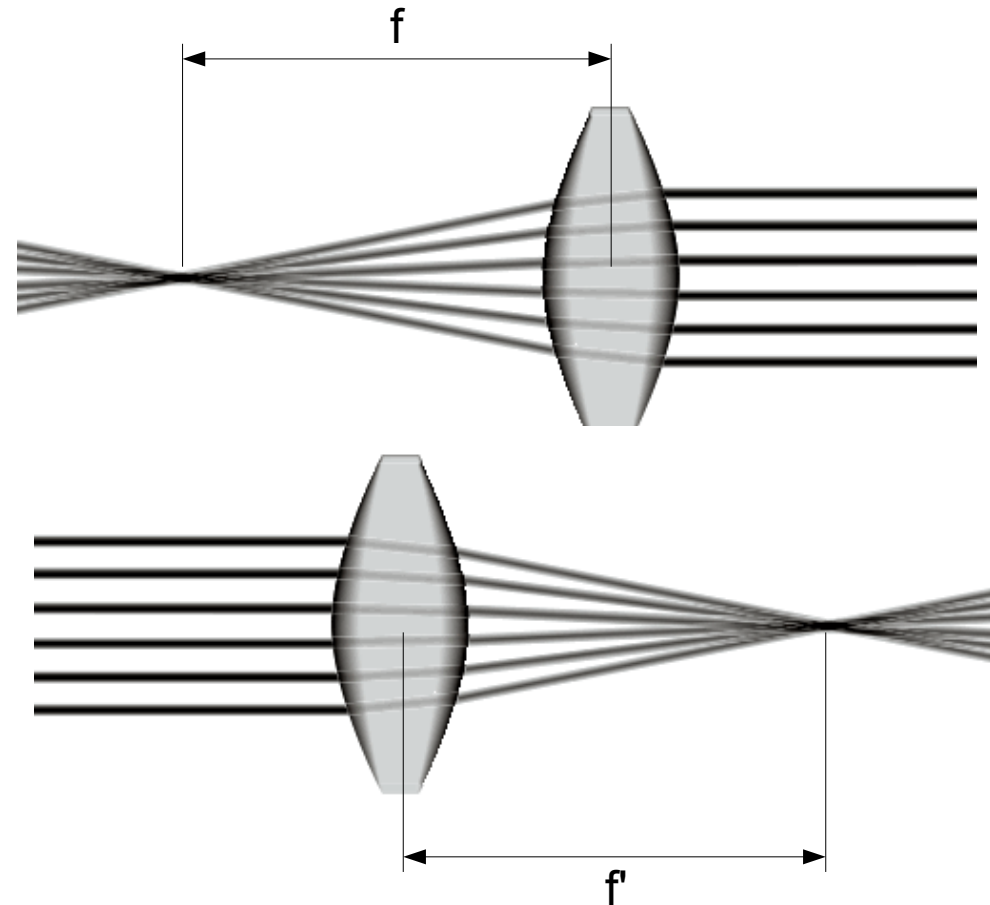
- Ecuación de las lentes delgadas
- Si el medio es el aire

$$\frac{1}{D'} - \frac{1}{D} = (n_l - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Foco
 - punto en el que debe ubicarse un objeto para que los rayos salgan paralelos ($D = f$)
 - $D' = \infty$
 - punto en el que convergen los rayos paralelos de un objeto en el infinito ($D' = f'$)
 - $D = \infty$



Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Distancia focal

Ec. de las lentes delgadas

$$\frac{n_m}{D'} - \frac{n_m}{D} = (n_l - n_m) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

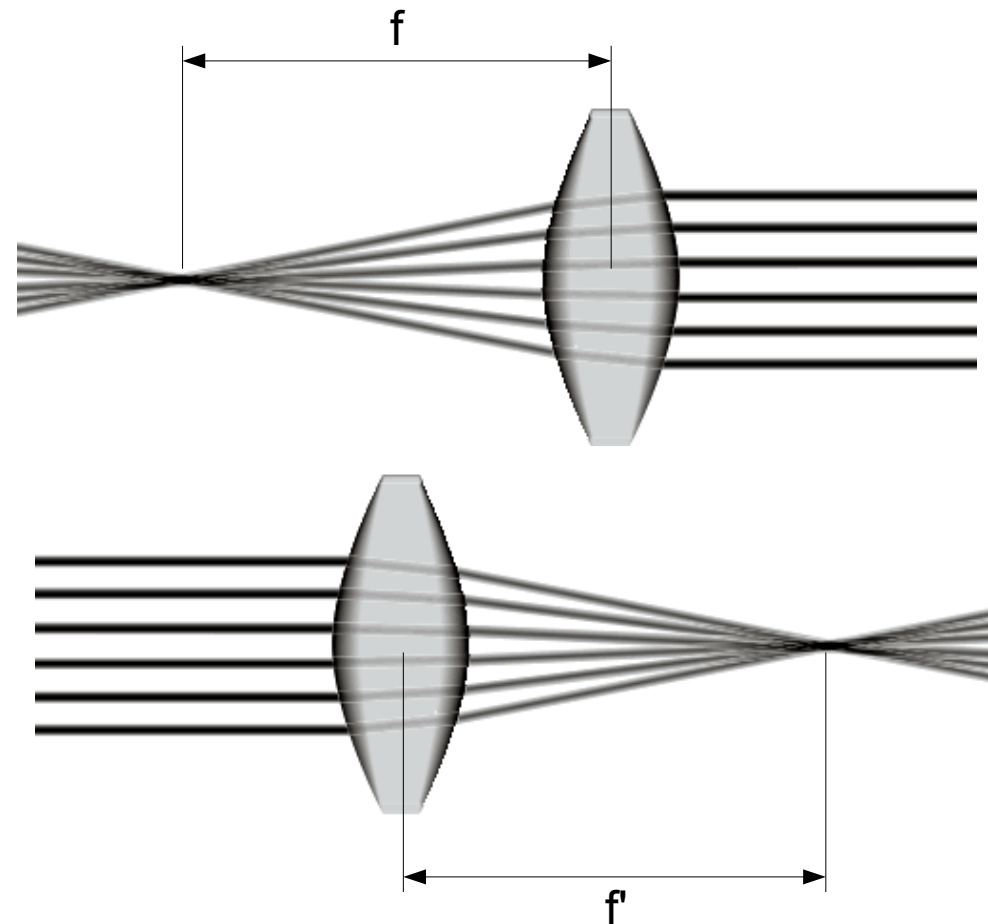
Sustituimos las distancias

$$-\frac{n_m}{f} = (n_l - n_m) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{n_m}{f'} = (n_l - n_m) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Se concluye que

$$f = -f'$$



Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Distancia focal

Ec. de las lentes delgadas

$$\frac{n_m}{D'} - \frac{n_m}{D} = (n_l - n_m) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Sustituimos las distancias

$$-\frac{n_m}{f} = (n_l - n_m) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{n_m}{f'} = (n_l - n_m) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Se concluye que

$$\boxed{f = -f'}$$

Se cumple también que

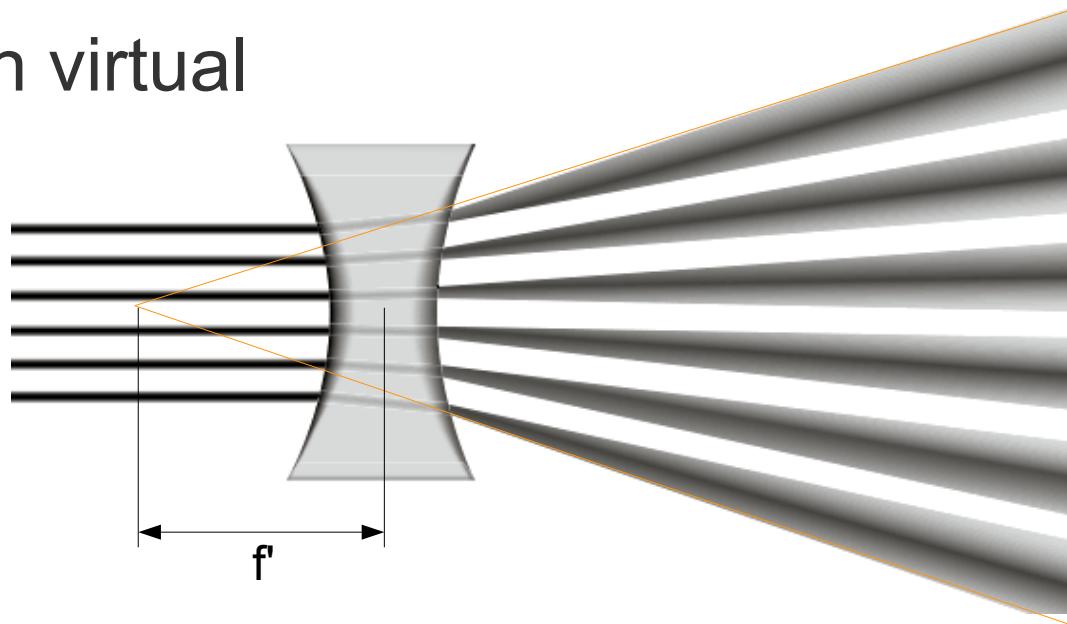
$$\frac{n_m}{D} - \frac{n_m}{D'} = \frac{n_m}{f} = -\frac{n_m}{f'}$$

Si el medio es el aire

$$\frac{1}{D} - \frac{1}{D'} = \frac{1}{f} = -\frac{1}{f'}$$

Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Solo una lente convergente produce una imagen real $\rightarrow f' > 0$
- Lente divergente $\rightarrow f' < 0$
 - imagen virtual

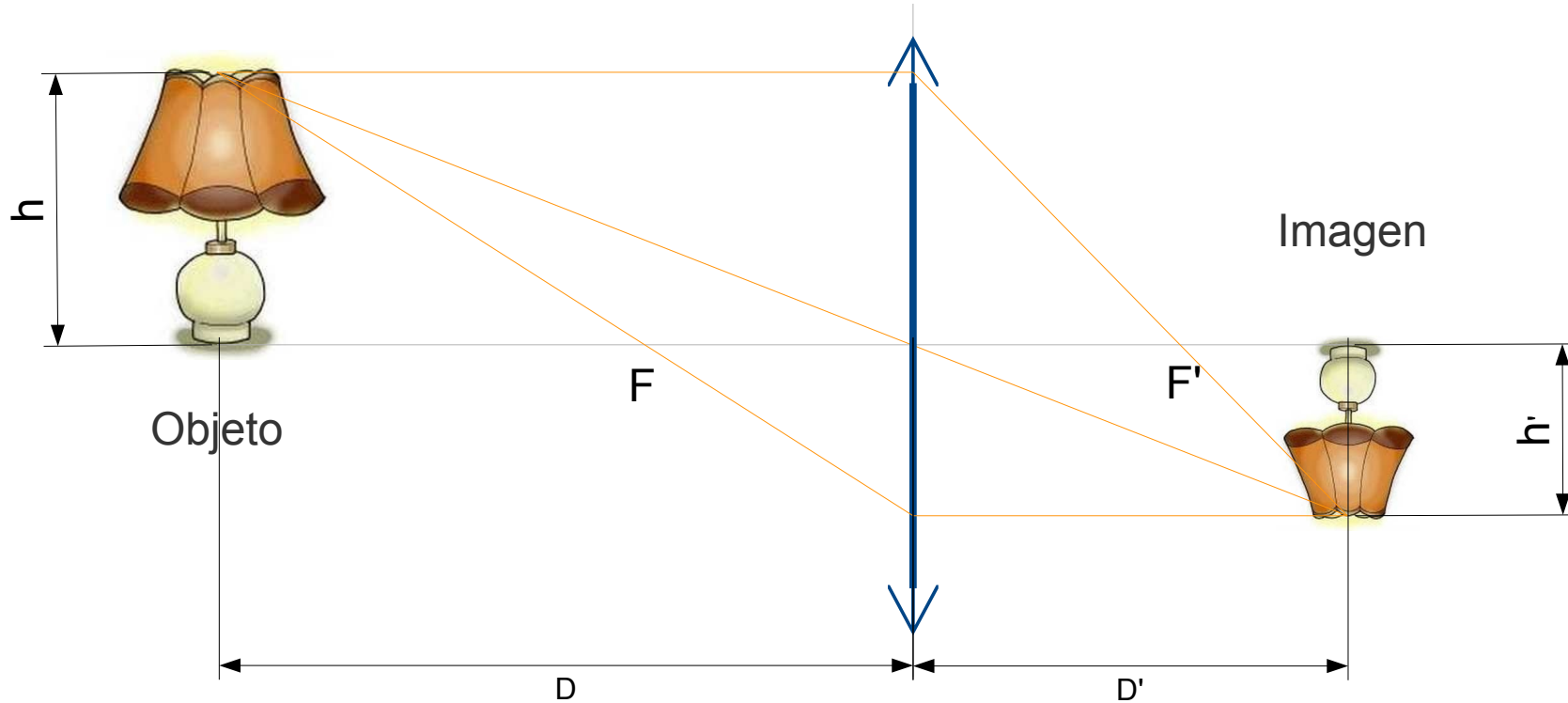


Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Aumento
 - si h es la altura del objeto, y h' la altura de la imagen
 - $A = h' / h$
 - se cumple que $A = D' / D$

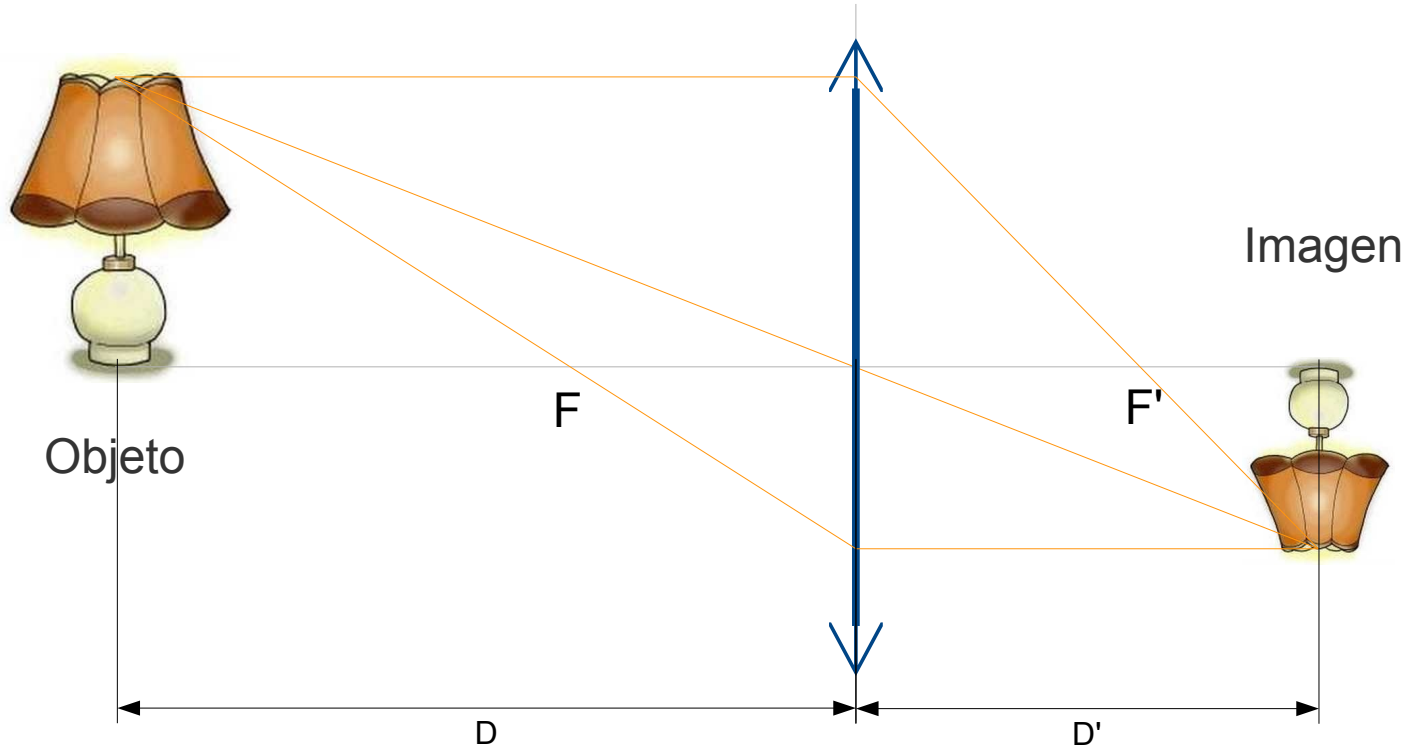
Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Aumento
- $A = h' / h = D' / D$



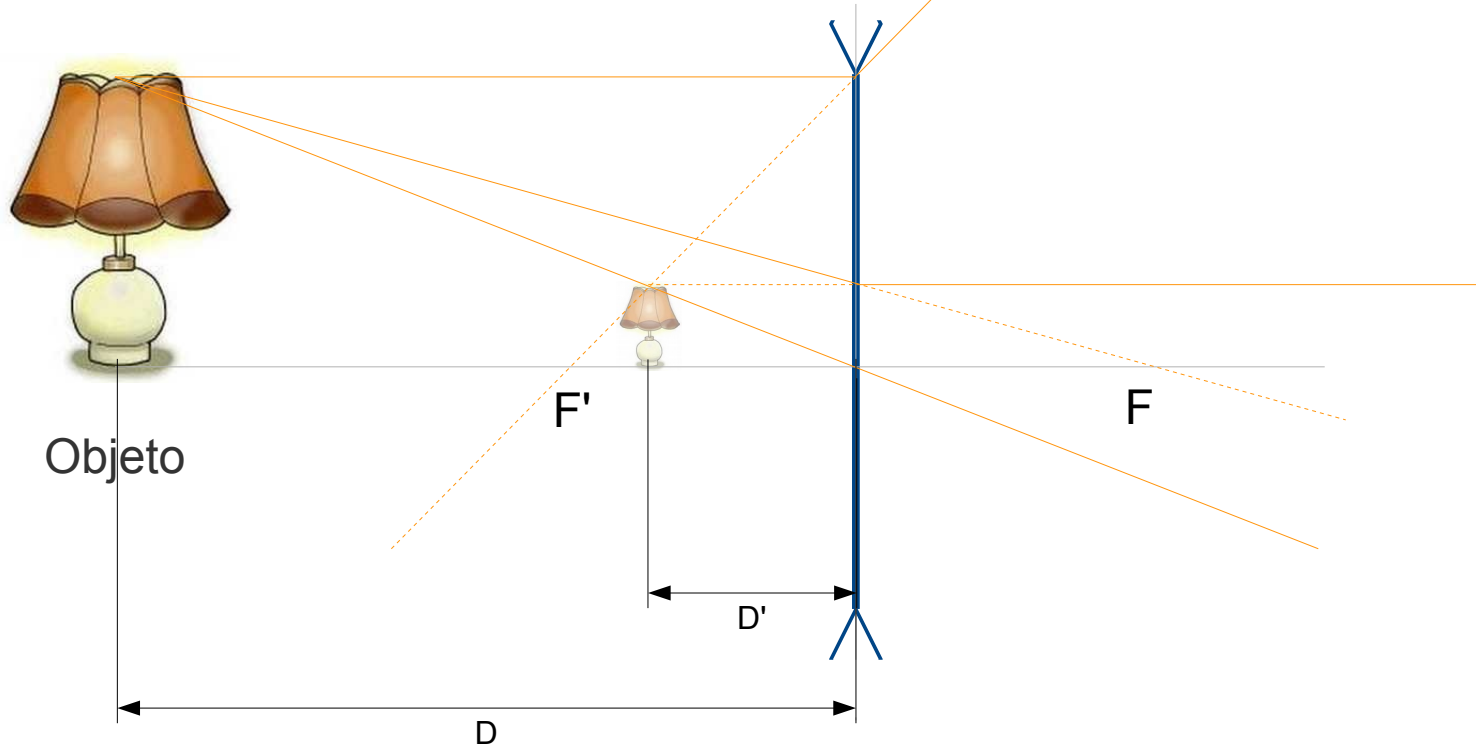
Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Aumento
- $A < 0 \rightarrow$ imagen real invertida



Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Aumento
- $A > 0 \rightarrow$ imagen virtual no invertida



Manipulación de la Luz

- Lentes delgadas
- Aumento
- $|A| > 1 \rightarrow$ imagen de mayor tamaño
- $|A| < 1 \rightarrow$ imagen de mayor tamaño



Ejercicio⁽¹²⁾

- Una lente delgada biconvexa de $n = 1.45$ tiene radios de curvatura
 - $|R_1| = 6 \text{ cm}$
 - $|R_2| = 4 \text{ cm}$
- Una aguja de 2 cm de largo se ubica a 10 cm de la lente
- Hallar la distancia focal f de la lente
- Hallar la distancia y el tamaño de la imagen
- ¿Es real? ¿Está invertida?
- ¿Cual es el aumento de la lente?

Recordar ecuación lentes delgadas y distancia focal para lente en aire

$$\frac{1}{D'} - \frac{1}{D} = (n_1 - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{D} - \frac{1}{D'} = \frac{1}{f} = - \frac{1}{f'}$$