

# Clase 15

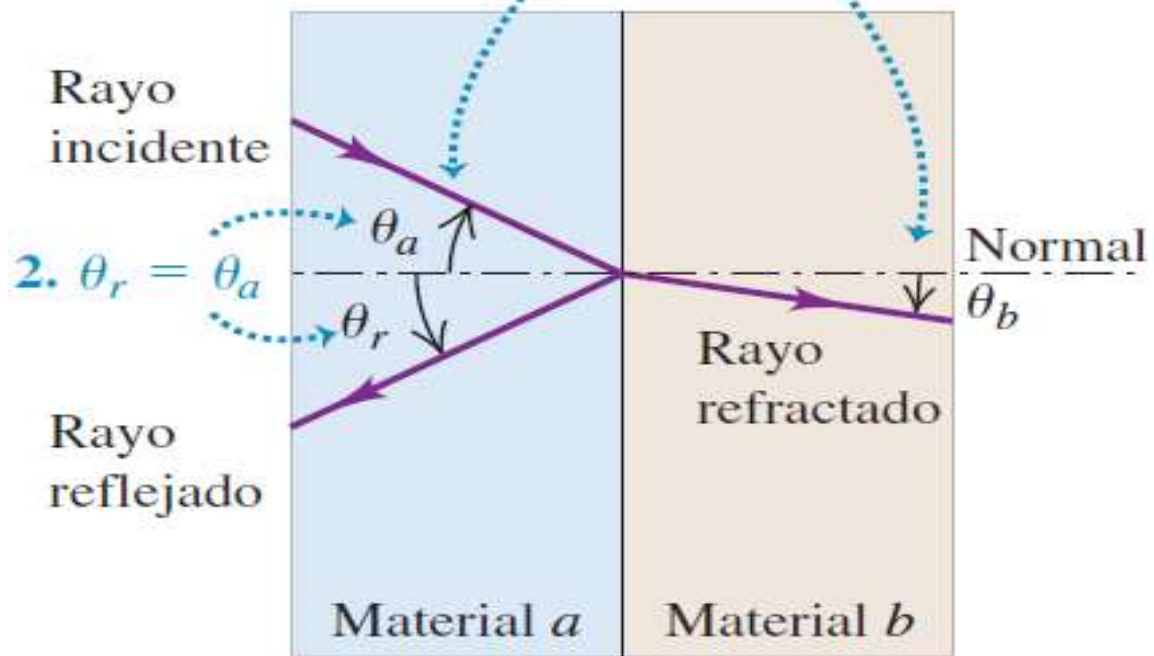
# Reflexión y refracción

Cátedra: Diego Arbó

# Reflexión y refracción

1. Los rayos incidente, reflejado y refractado, así como la normal a la superficie, yacen todos en el mismo plano.

Los ángulos  $\theta_a$ ,  $\theta_b$  y  $\theta_r$  se miden a partir de la normal.



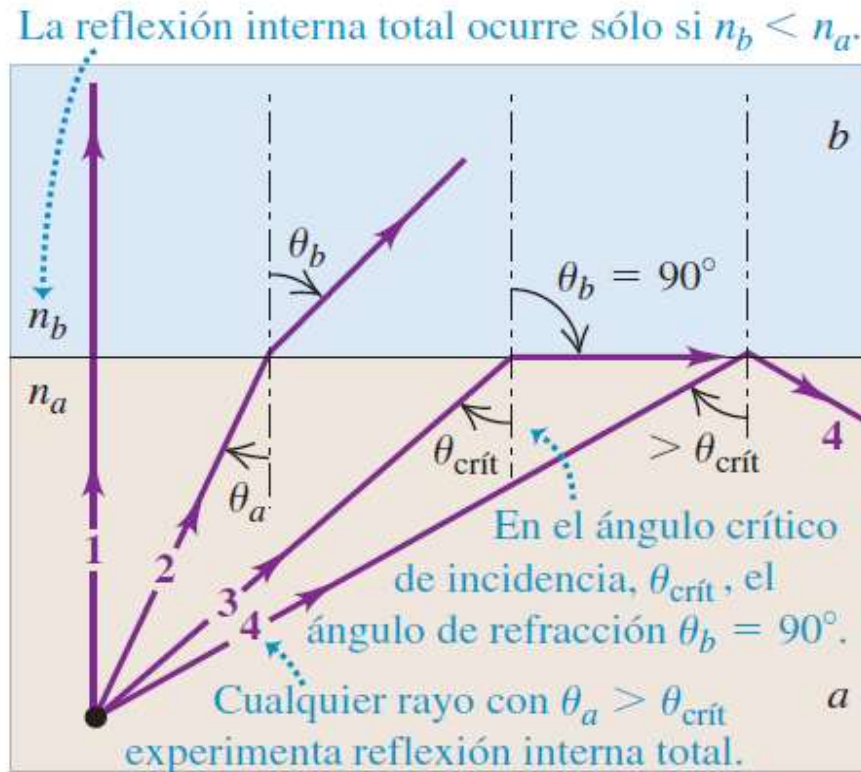
3. Cuando un rayo de luz monocromática cruza la interfaz entre dos materiales dados *a* y *b*, los ángulos  $\theta_a$  y  $\theta_b$  se relacionan con los índices de refracción de *a* y *b* por medio de

$$\frac{\text{sen } \theta_a}{\text{sen } \theta_b} = \frac{n_b}{n_a}$$

Supongamos que la luz incide desde un medio de mayor índice de refracción  $n_a$  a uno de menor índice  $n_b$

$$\text{sen } \theta_b = \frac{n_a}{n_b} \text{sen } \theta_a$$

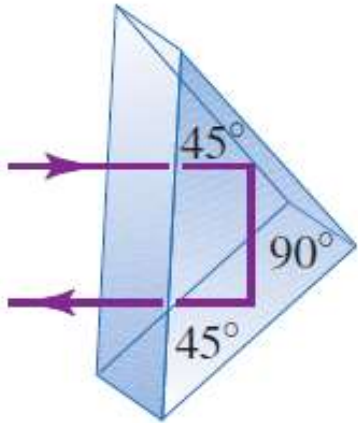
$$\text{sen } \theta_{\text{crít}} = \frac{n_b}{n_a} \quad (\text{ángulo crítico para la reflexión interna total})$$



Interfaz aire-vidrio:  $\text{sen } \theta_{\text{crít}} = \frac{1}{1.52} = 0.658 \quad \theta_{\text{crít}} = 41.1^\circ$

# Aplicaciones de reflexión total interna

## a) Reflexión interna total en un prisma de Porro



Si el rayo incidente está orientado como se ilustra, la reflexión interna total ocurre en las caras a  $45^\circ$  (porque para una interfaz vidrio-aire,  $\theta_{\text{crít}} = 41.1^\circ$ ).

**33.15** Varilla transparente con índice de refracción mayor que el del material circundante.



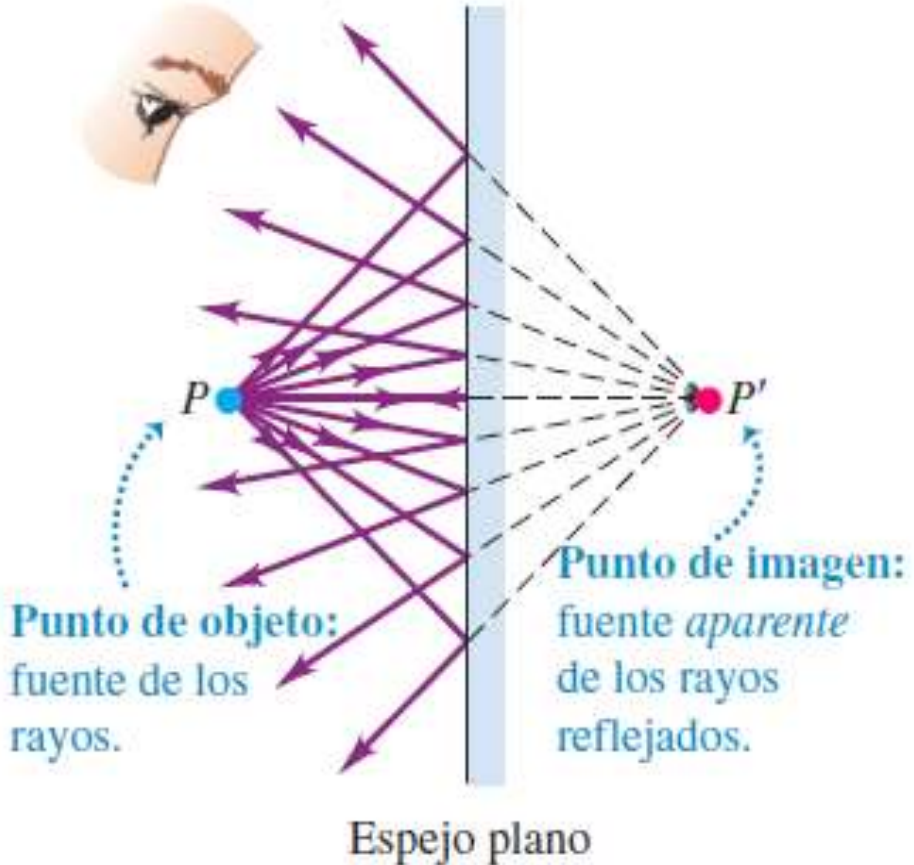
La luz queda atrapada en la varilla si todos los ángulos de incidencia (como  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ) exceden el ángulo crítico.

Principio básico de la fibra óptica



Los rayos luminosos provenientes del objeto situado en el punto  $P$  se reflejan en un espejo plano.

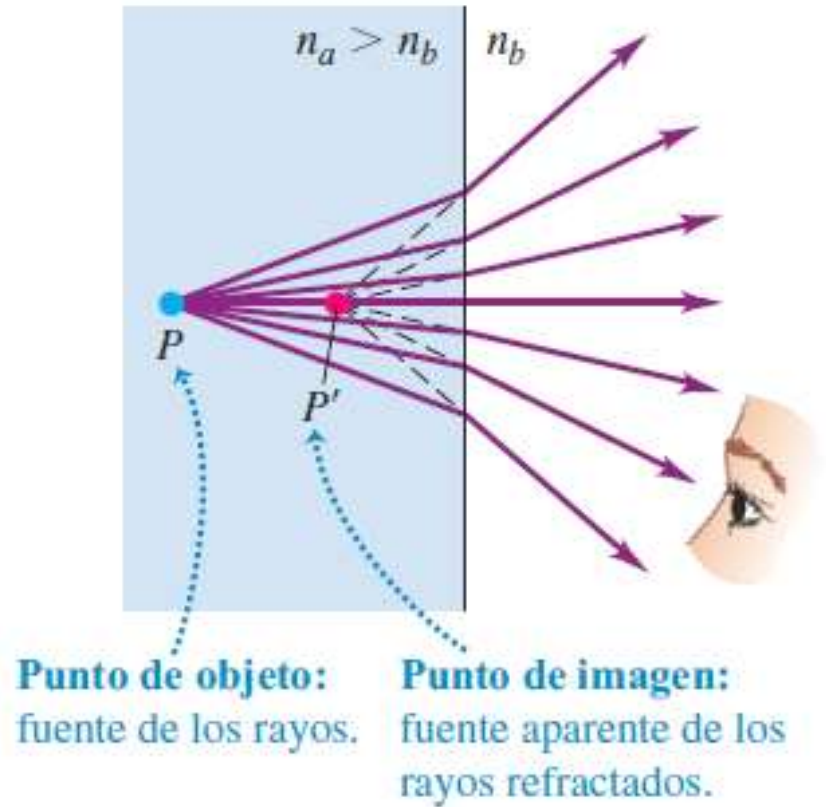
Los rayos reflejados que penetran en el ojo se ven como si proviniesen del punto de imagen  $P'$ .



Los rayos luminosos provenientes del objeto situado en el punto  $P$  se refractan en la interfaz plana.

Los rayos refractados que penetran en el ojo se ven como si provinieran del punto de imagen  $P'$ .

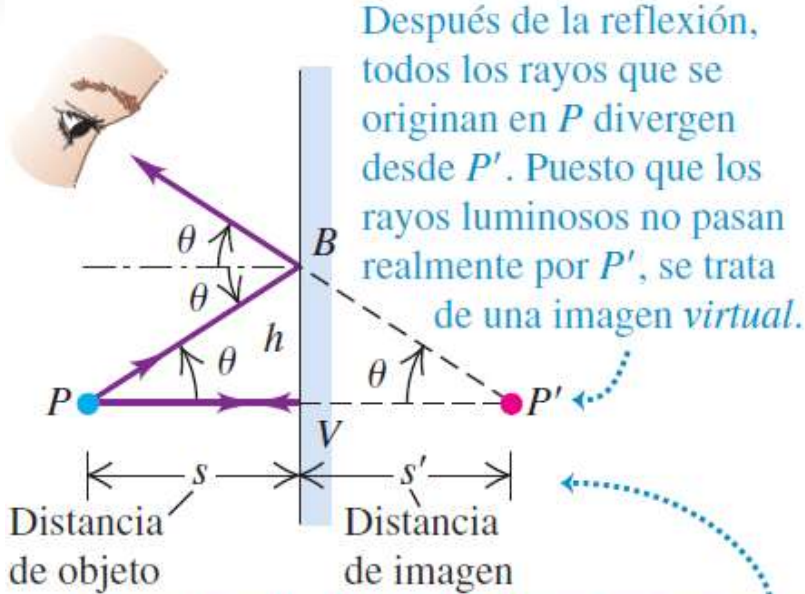
Cuando  $n_a > n_b$ ,  $P'$  está más próximo a la superficie que  $P$ ; para  $n_a < n_b$ , se cumple lo opuesto.



# Regla de los signos de formación de imágenes

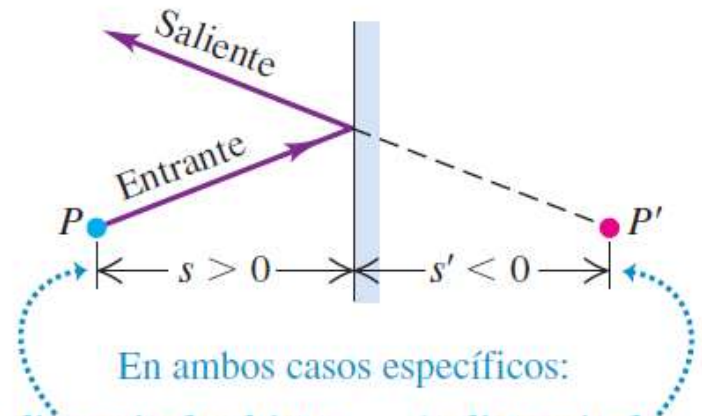
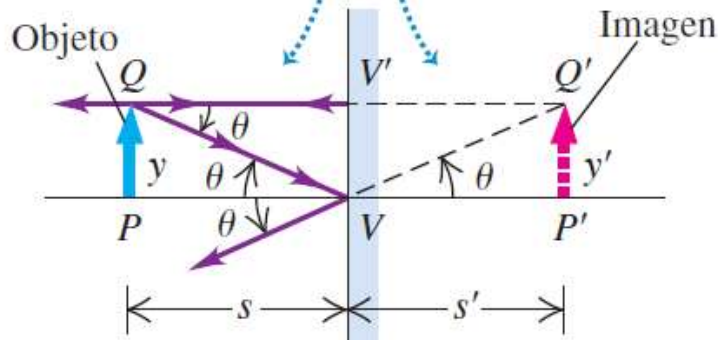
1. **Regla de signos para la distancia de objeto:** cuando el objeto está del mismo lado de la superficie reflectante o refractiva que la luz entrante, la distancia de objeto  $s$  es positiva; en caso contrario, es negativa.
2. **Regla de signos para la distancia de imagen:** cuando la imagen está del mismo lado de la superficie reflectante o refractiva que la luz saliente, la distancia de imagen  $s'$  es positiva; en caso contrario, es negativa.
3. **Regla de signos para el radio de curvatura de una superficie esférica:** cuando el centro de curvatura  $C$  está del mismo lado que la luz saliente, el radio de curvatura es positivo; en caso contrario, es negativo.

# Espejo plano



Los triángulos  $PVB$  y  $P'VB$  son congruentes, así que  $|s| = |s'|$ .

Para un espejo plano,  $PQV$  y  $P'Q'V$  son congruentes, así que  $y = y'$  y el objeto y la imagen tienen el mismo tamaño (el aumento lateral es 1).



la **distancia de objeto**  $s$  es *positiva* porque el objeto está del mismo lado que la luz entrante.

la **distancia de imagen**  $s'$  es *negativa* porque la imagen **NO** está en el mismo lado que la luz saliente.

$$s = -s' \quad (\text{espejo plano})$$

$$m = \frac{y'}{y} \quad (\text{aumento lateral})$$

$$m = +1$$



# Espejo esférico (cóncavo)

Para un espejo esférico,  
 $\alpha + \beta = 2\phi$ .

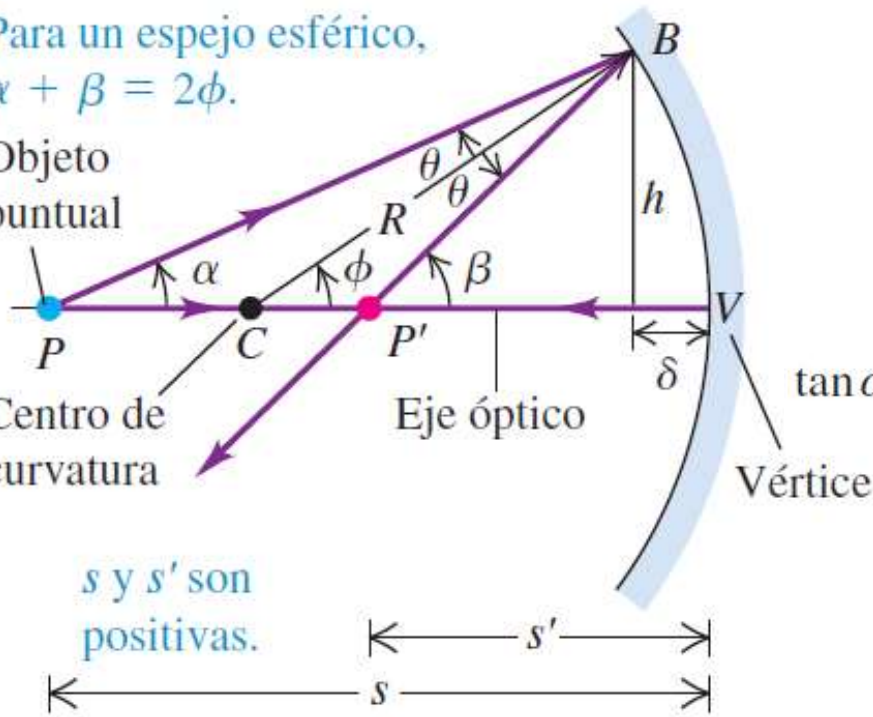
Objeto puntual

Centro de curvatura

Eje óptico

Vértice

$s$  y  $s'$  son positivas.



$$\phi = \alpha + \theta \quad \beta = \phi + \theta$$



$$\alpha + \beta = 2\phi$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{s - \delta} \quad \tan \beta = \frac{h}{s' - \delta} \quad \tan \phi = \frac{h}{R - \delta}$$

Aproximación paraxial: ángulos pequeños

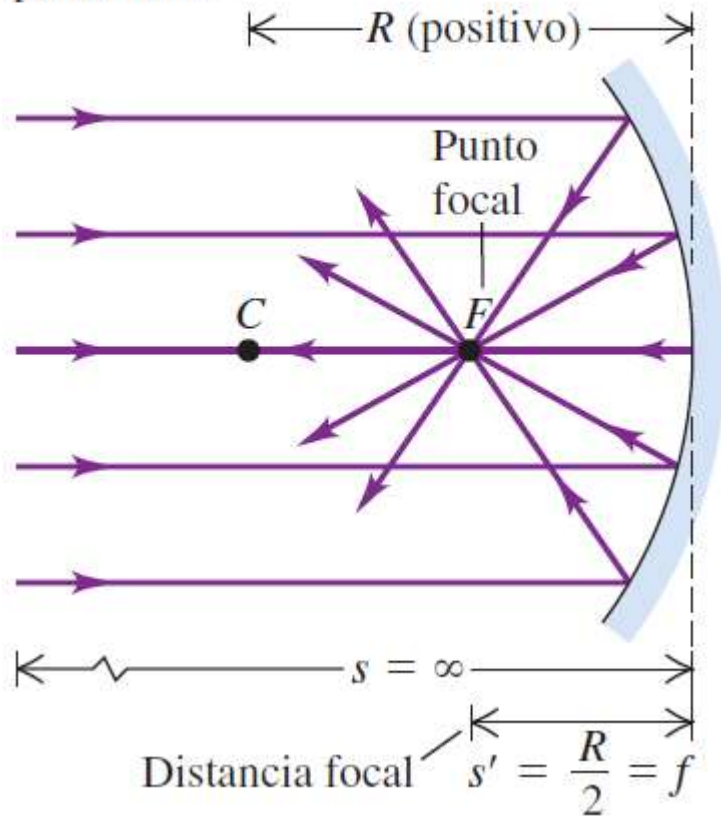
$$\alpha = \frac{h}{s} \quad \beta = \frac{h}{s'} \quad \phi = \frac{h}{R}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

Si  $R \rightarrow \infty$ , entonces el espejo se vuelve plano y recobramos  $s = -s'$

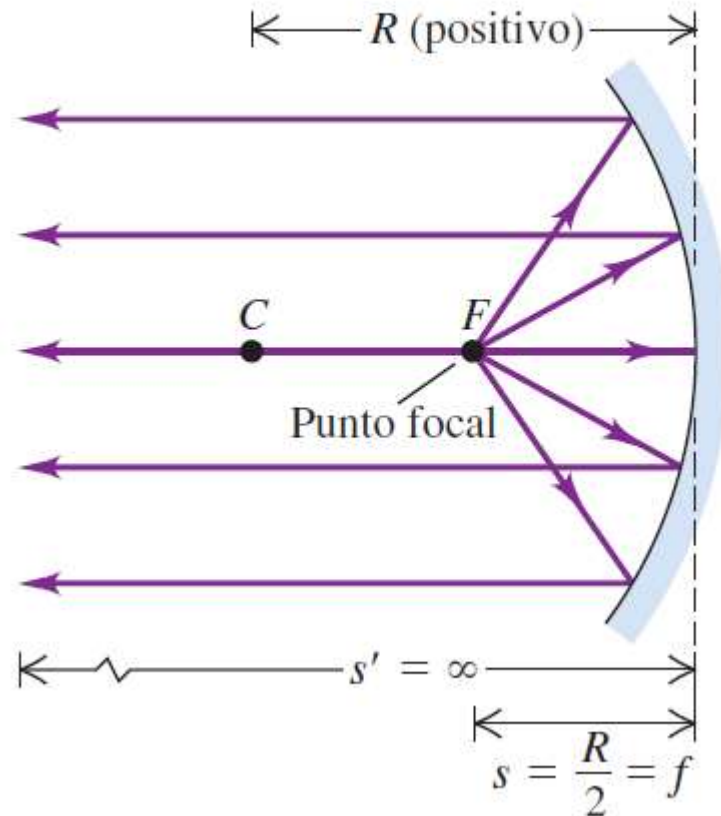


a) Todos los rayos paralelos incidentes en un espejo esférico se reflejan a través el punto focal.



$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \quad s' = \frac{R}{2}$$

b) Los rayos divergentes del punto focal se reflejan para formar rayos paralelos salientes.

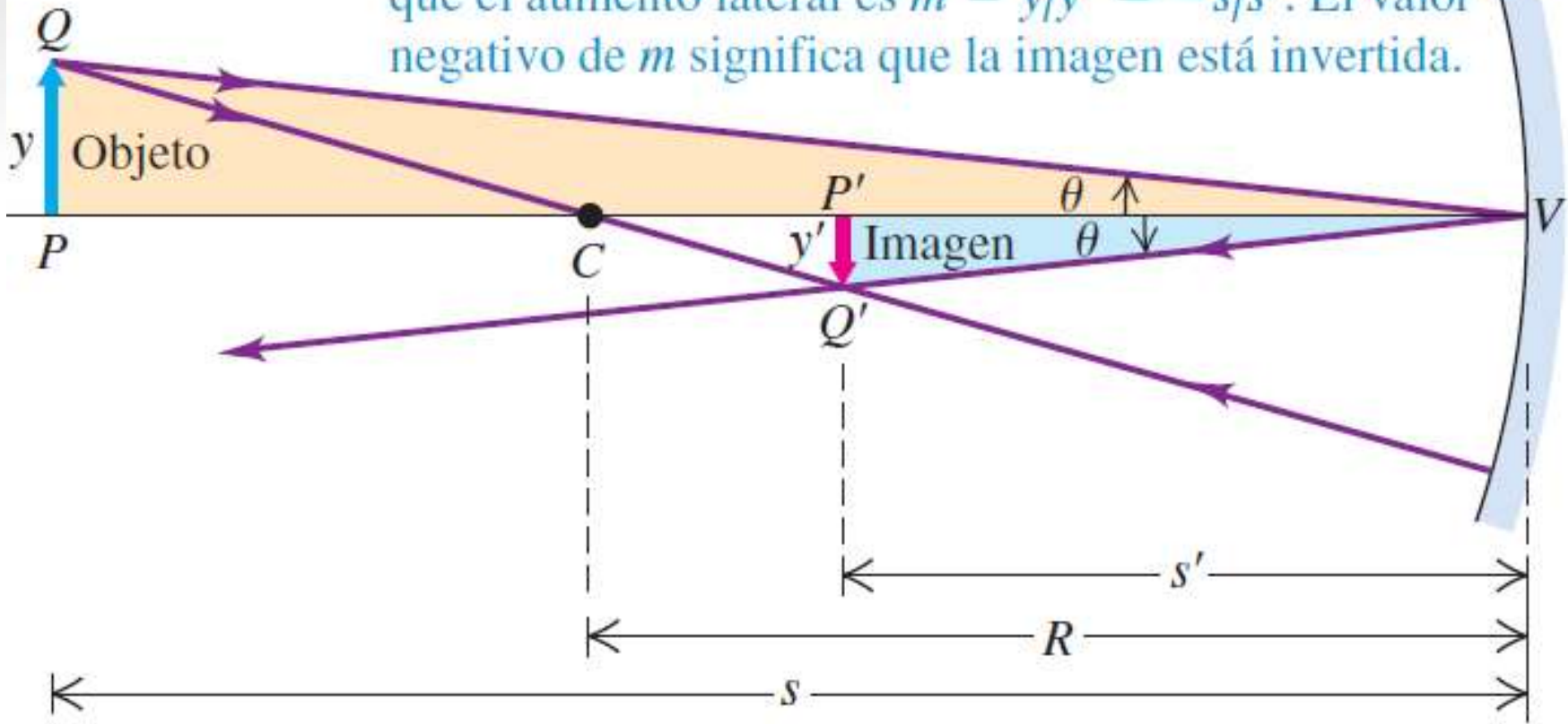


$$\frac{2}{R} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \quad \frac{1}{s'} = 0 \quad s' = \infty$$

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

(relación objeto-imagen, espejo esférico)

Los triángulos beige y azul son similares, por lo que el aumento lateral es  $m = y/y' = -s/s'$ . El valor negativo de  $m$  significa que la imagen está invertida.

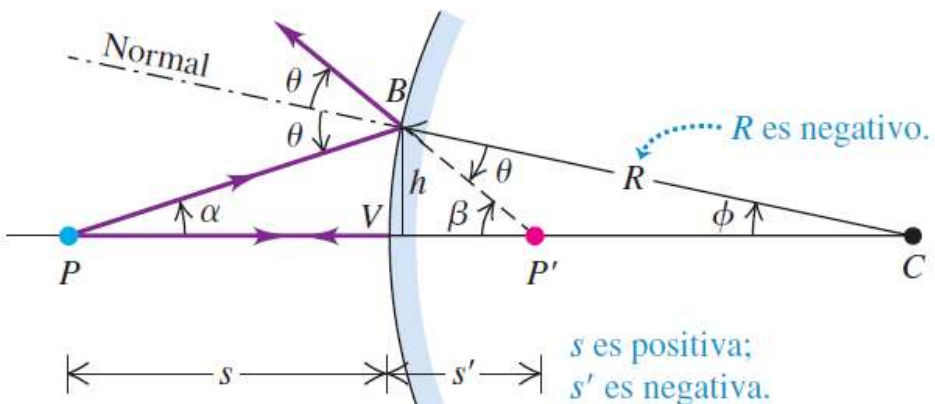


$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} \quad (\text{aumento lateral, espejo esférico})$$

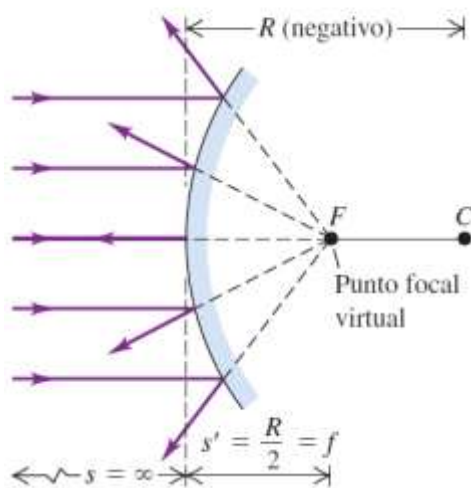
# Espejo esférico (convexo)

Se puede demostrar que siguen valiendo las mismas ecuaciones que para espejos cóncavos con la correspondiente convención de signos

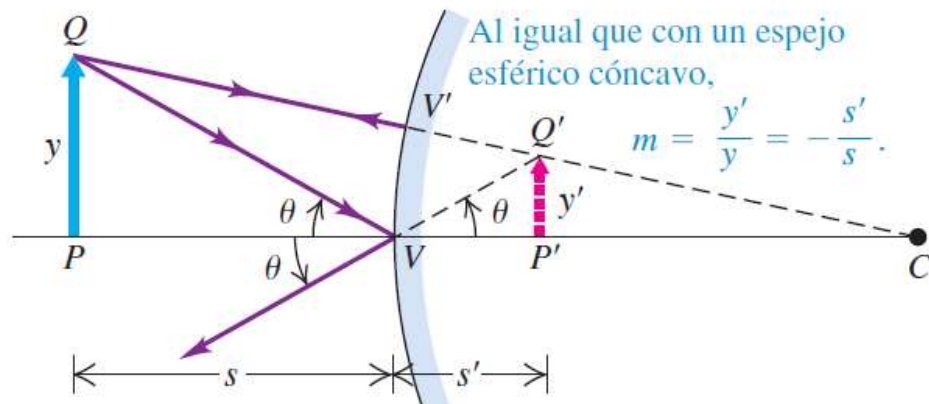
a) Construcción para determinar la posición de una imagen formada por un espejo convexo



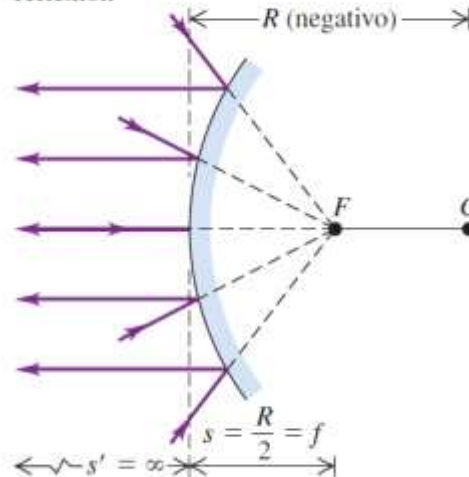
a) Rayos paraxiales que inciden en un espejo esférico convexo divergen a partir de un punto focal virtual



b) Construcción para determinar el aumento de una imagen formada por un espejo convexo

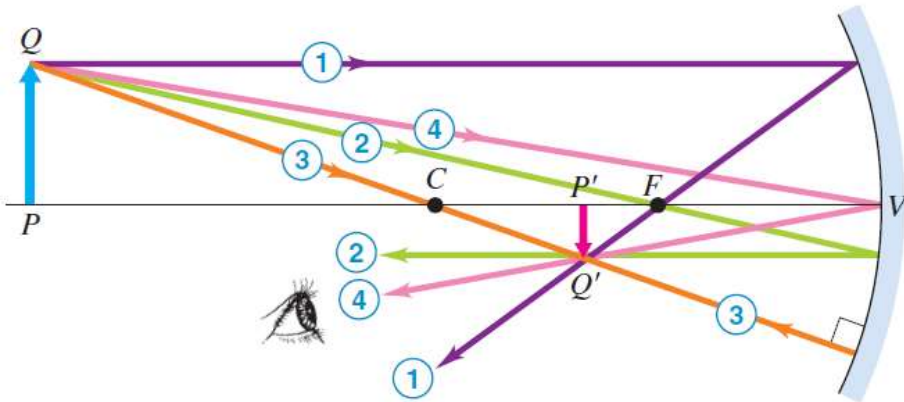


b) Los rayos dirigidos hacia el punto focal virtual son paralelos al eje después de la reflexión



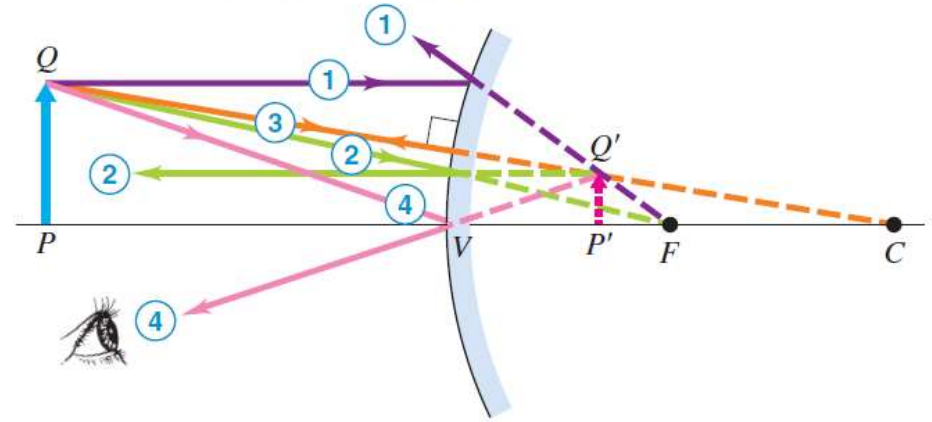
# Método gráfico para espejos

a) Rayos principales para un espejo cóncavo



- 1 El rayo paralelo al eje se refleja a través del punto focal.
- 2 El rayo que pasa por el punto focal se refleja paralelo al eje.
- 3 El rayo que pasa por el centro de curvatura interseca la superficie normalmente y se refleja por su trayectoria original.
- 4 El rayo hacia el vértice se refleja simétricamente a través del eje óptico.

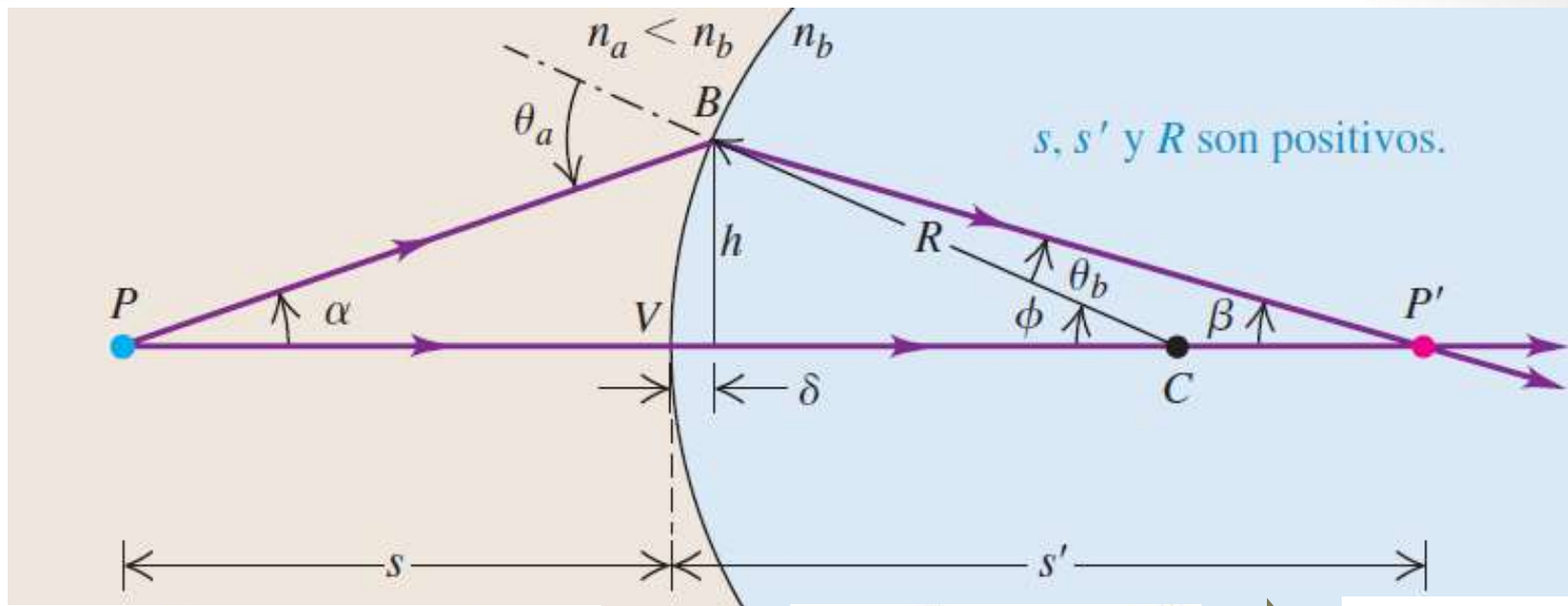
b) Rayos principales para un espejo convexo



- 1 El rayo paralelo reflejado parece provenir del punto focal.
- 2 El rayo hacia el punto focal se refleja paralelo al eje.
- 3 Al igual que con el espejo cóncavo: el rayo radial al centro de curvatura interseca la superficie normalmente y se refleja por su trayectoria original.
- 4 Como con el espejo cóncavo, el rayo hacia el vértice se refleja simétricamente con el eje óptico.



# Refracción en superficies esféricas



$$\theta_a = \alpha + \phi \quad \phi = \beta + \theta_b \quad n_a \text{ sen } \theta_a = n_b \text{ sen } \theta_b \quad \Rightarrow \quad n_a \theta_a = n_b \theta_b$$

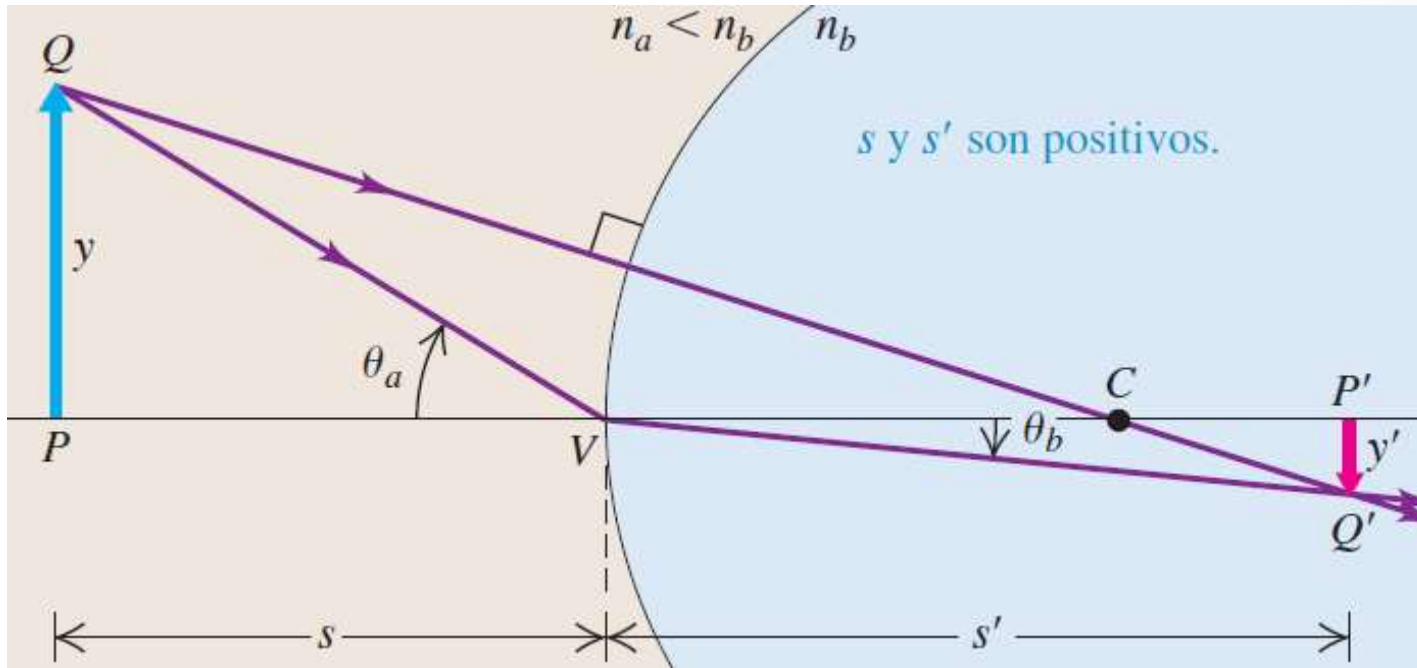
$$\phi = \beta + \frac{n_a \theta_a}{n_b} = \beta + \frac{n_a}{n_b} (\alpha + \phi)$$

$$\Rightarrow n_b \phi = n_b \beta + n_a (\alpha + \phi) \Rightarrow (n_b - n_a) \phi = n_b \beta + n_a \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{s + \delta} \quad \tan \beta = \frac{h}{s' - \delta} \quad \tan \phi = \frac{h}{R - \delta} \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{h}{s} \quad \beta = \frac{h}{s'} \quad \phi = \frac{h}{R}$$

$$\frac{n_a}{s} + \frac{n_b}{s'} = \frac{n_b - n_a}{R} \quad (\text{relación objeto-imagen, superficie refractiva esférica})$$

# Aumento lateral



$$\tan \theta_a = \frac{y}{s} \quad \tan \theta_b = \frac{-y'}{s'}$$

$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{s' \tan \theta_b}{s \tan \theta_a} \cong -\frac{s' \sin \theta_b}{s \sin \theta_a} = -\frac{s' n_a}{s n_b}$$

$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{n_a s'}{n_b s} \quad (\text{aumento lateral, superficie refractiva esférica})$$

$$\text{Si } R \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{n_a}{s} + \frac{n_b}{s'} = 0 \quad (\text{superficie refractiva plana}) \quad m = 1$$