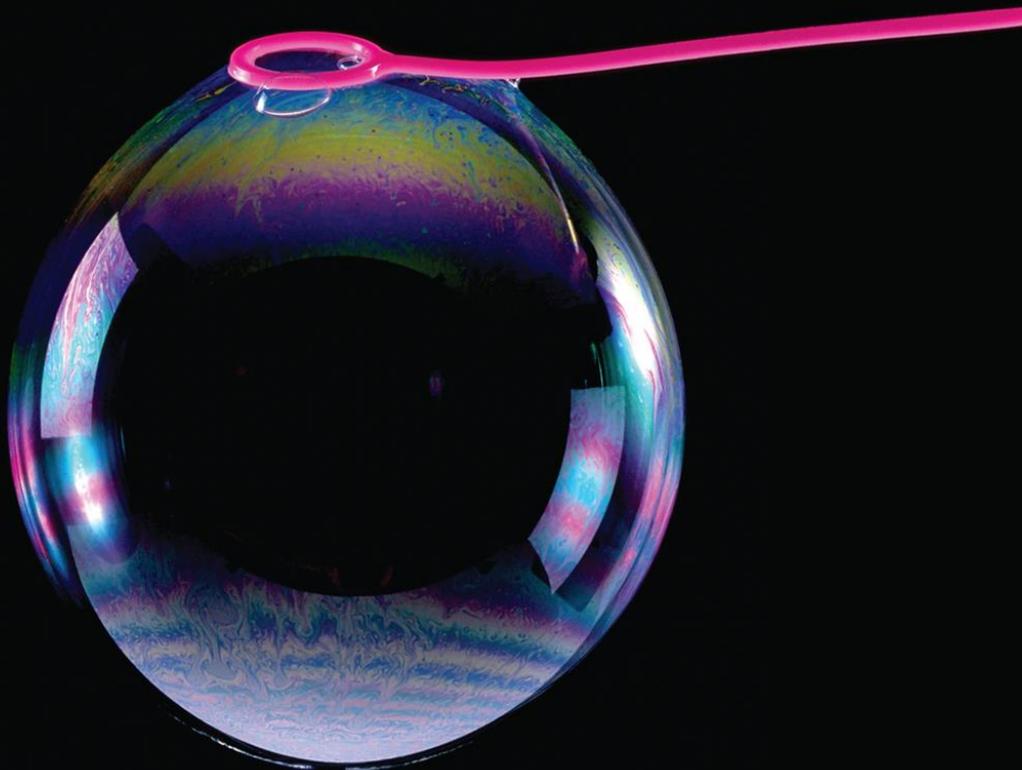
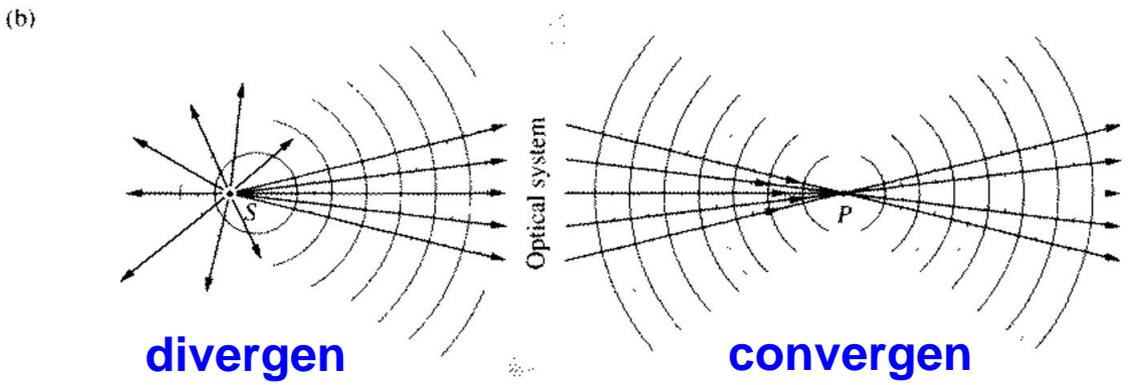
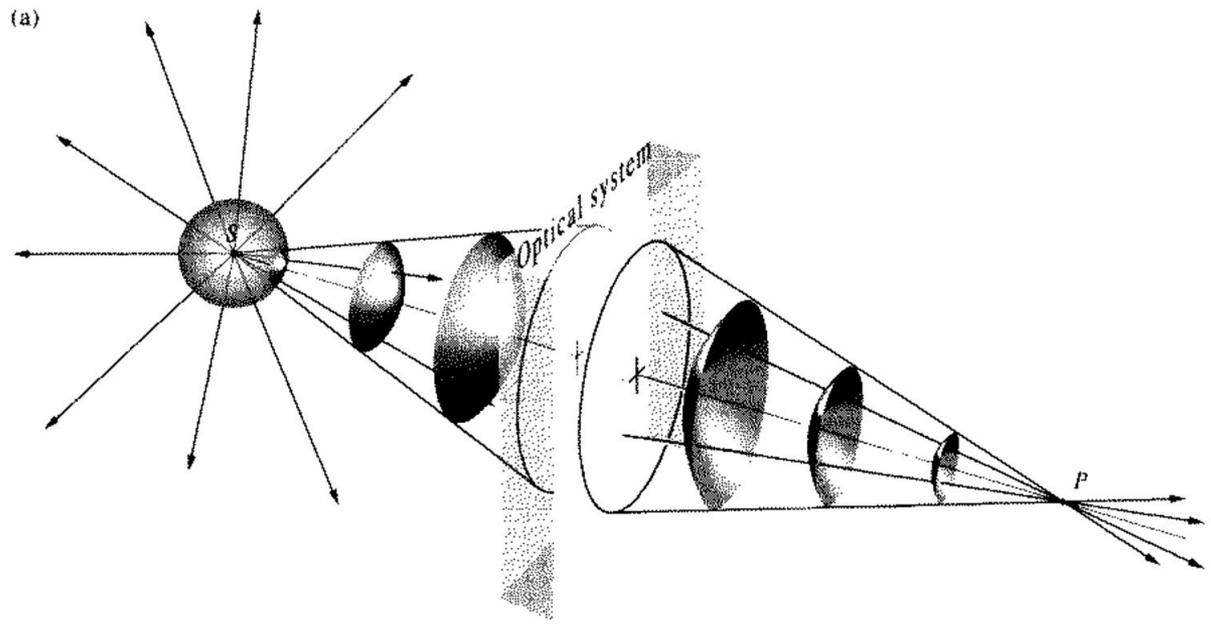


Óptica geométrica: conceptos generales

Para comprender las imágenes y su formación, sólo necesitamos el modelo de rayos de la luz, las leyes de reflexión y refracción, y un poco de geometría y trigonometría simples.



Óptica geométrica



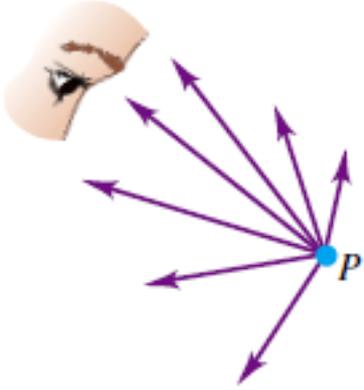
espacio OBJETO

espacio IMAGEN

foco

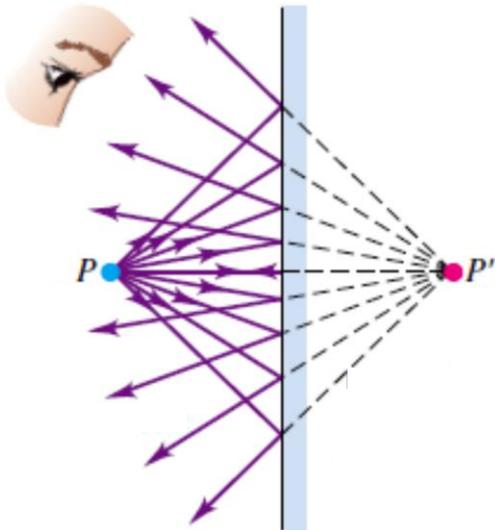
Reflexión y refracción en una superficie plana

Los rayos luminosos se irradian desde un objeto puntual P en todas direcciones.



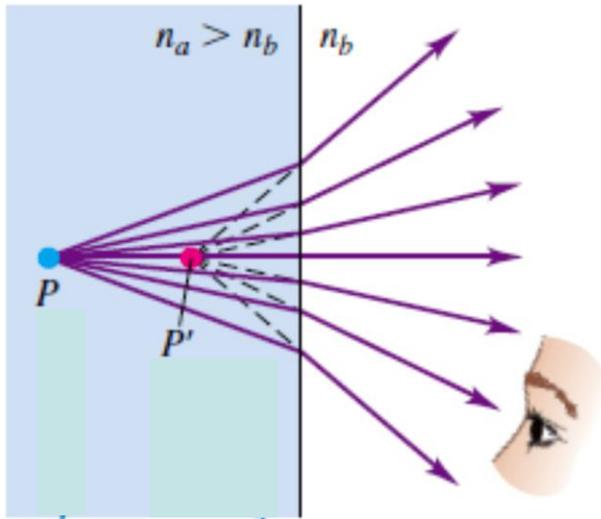
- objeto P es un **objeto puntual** carente de extensión física
- objetos reales con longitud, ancho y altura se llaman **objetos extensos**

Suponga que algunos de los rayos provenientes del objeto inciden en una superficie reflectante plana y lisa.



- se tiene una reflexión *especular*
- al punto P se le llama *punto de objeto*
- el punto P' es el *punto de imagen* correspondiente
- la superficie reflectante forma una **imagen** del punto P .

Una superficie plana *refractiva* también forma una imagen.



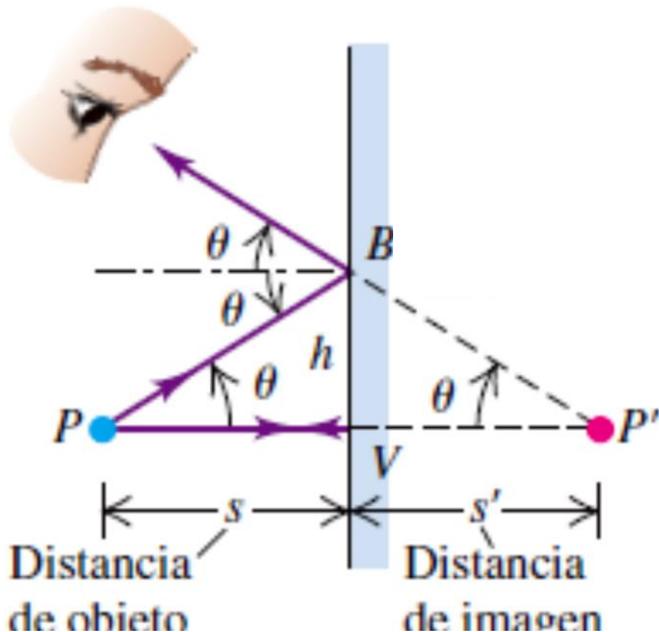
- los rayos provenientes del punto P se refractan en la interfaz entre dos materiales ópticos
- cuando los ángulos de incidencia son pequeños, la dirección final de los rayos después de la refracción es la misma que si hubiesen provenido del punto P'
- P' es el *punto de imagen*

Si los rayos salientes no pasan en realidad por P' , se dice que la imagen es una ***imagen virtual***.

Cuando los rayos salientes *pasan* efectivamente por un punto de imagen, en cuyo caso la imagen resultante recibe el nombre de ***imagen real***.

Formación de imágenes por espejo plano. *Objeto puntual*

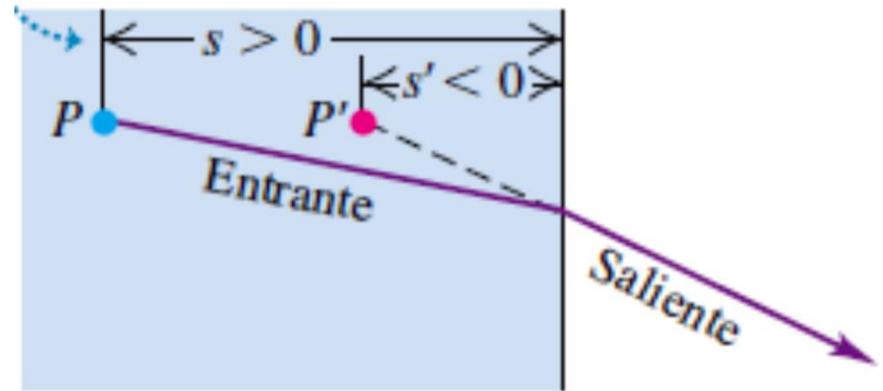
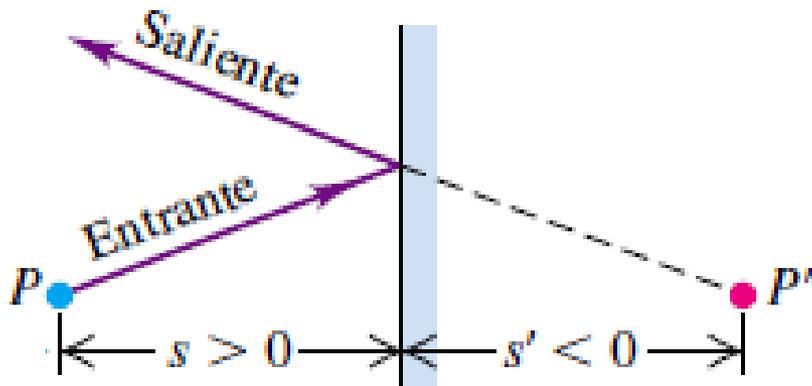
Construcción para encontrar la ubicación de la imagen formada por un espejo plano. El punto de imagen P' está tan atrás del espejo como el punto de objeto P está delante de él.



- un punto de objeto P situado a una distancia s , **distancia de objeto**
- rayo PV incide normalmente en el espejo
- rayo PB forma un ángulo θ con PV
- prolongamos hacia atrás los dos rayos reflejados, P'
- s' , la **distancia de imagen**
- los triángulos PVB y $P'VB$ son *congruentes*
- P y P' están a la misma distancia del espejo
- s y s' tienen igual magnitud

Lo cual confirma que P' es la **imagen de P**

Las reglas de los signos incluyen la formación de imágenes por una superficie reflectante o refractiva, plana o esférica, o por un par de superficies refractivas que forman una lente. Las reglas son las siguientes:



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.

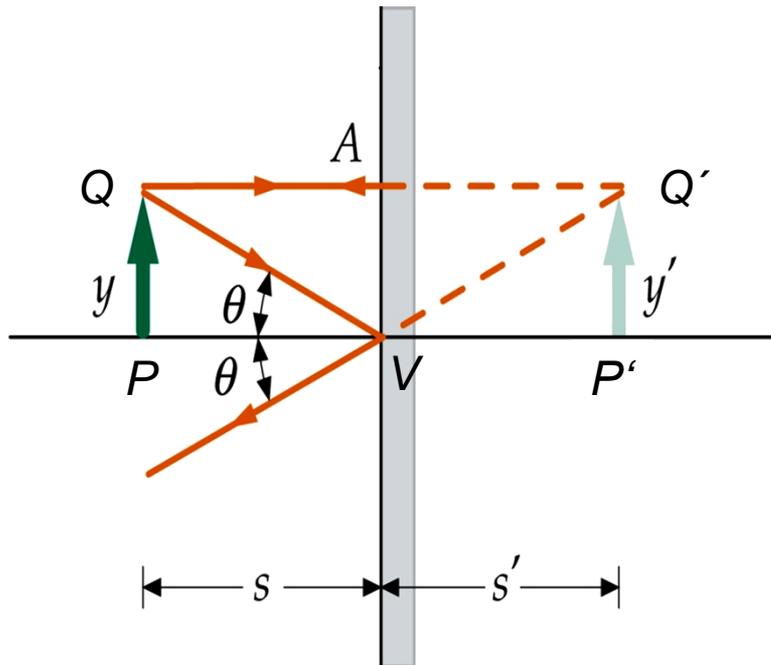
3. **Regla de signos para el radio de curvatura de una superficie esférica:** cuando el centro de curvatura C está del mismo lado que la luz saliente, el radio de curvatura es positivo; en caso contrario, es negativo.

La relación entre las distancias de objeto y de imagen s y s' es simplemente

$$s = -s'$$

Imagen de un objeto: Espejo plano

Para simplificar, consideremos un objeto de una sola dimensión, como una flecha delgada, orientada paralelamente a la superficie reflectante. Construcción para calcular la altura de una imagen formada por reflexión en una superficie reflectante plana.



- la flecha PQ
- y , la distancia de la cabeza a la cola de una flecha orientada de este modo es su *altura*
- a cada punto del objeto corresponde un punto de la imagen
- *todos* los rayos que proceden de Q parecen divergir desde su punto de imagen Q' después de la reflexión
- la imagen de la flecha es la línea $P'Q'$, cuya altura es y'
- los triángulos PQV y $P'Q'V$ son congruentes

Por ello, **el objeto PQ y la imagen $P'Q'$ tienen los mismos tamaño y orientación, donde $y = y'$**

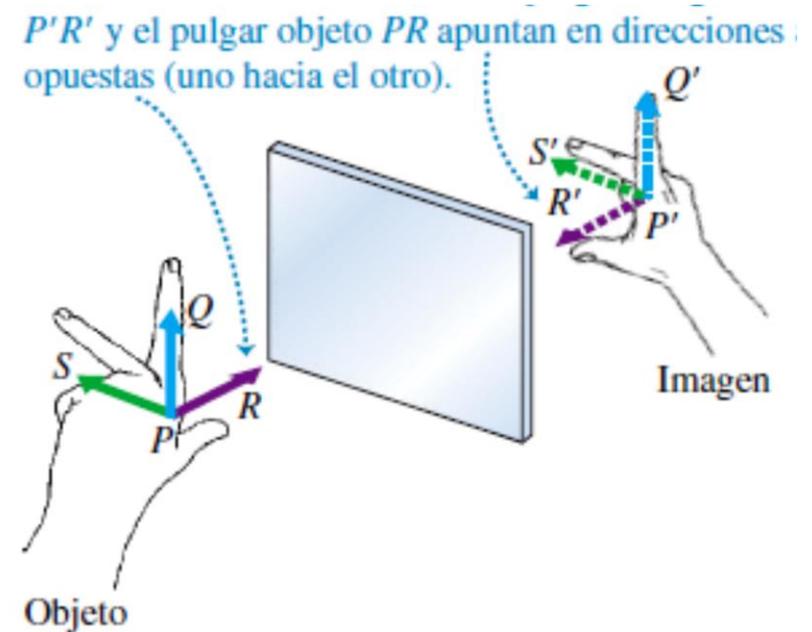
Aumento lateral

Es la relación entre la altura de la imagen y la altura del objeto en cualquier situación de formación de imágenes.

$$m = \frac{y'}{y}$$



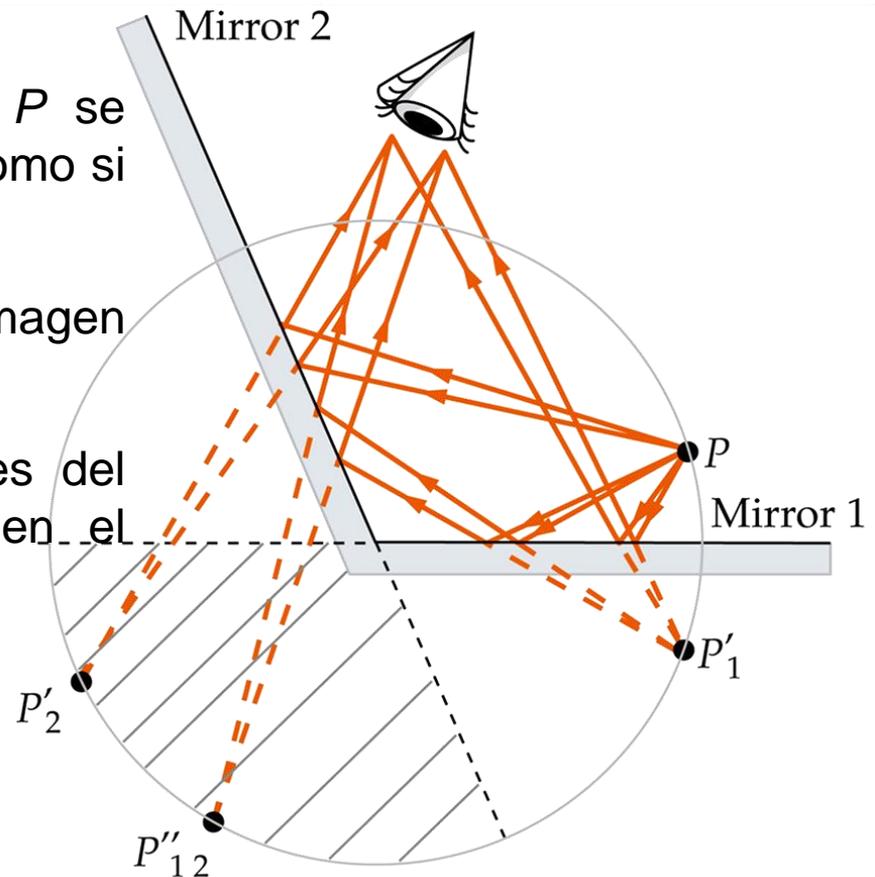
Si levantamos la mano derecha frente a un espejo, la imagen que vemos es del mismo tamaño, pero parece una mano izquierda. Esta inversión derecha – izquierda es el resultado de una ***inversión en profundidad***.



La imagen formada por un espejo plano es ***virtual, derecha, inversa*** y del ***mismo tamaño*** que el objeto.

Una propiedad importante de todas las imágenes formadas por superficies reflectantes o refractivas es que una *imagen* formada por una superficie o un dispositivo óptico puede servir como el *objeto* de una segunda superficie o dispositivo.

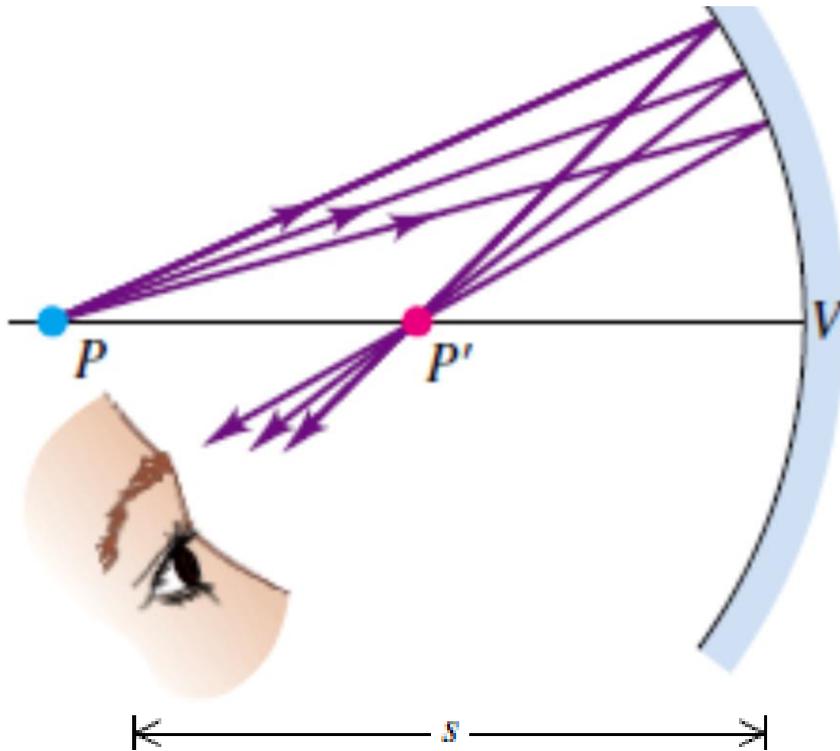
- la luz procedente del punto objeto P se refleja en espejo 1 y llega al espejo 2 como si procediese del punto imagen P'_1
- P'_1 es el objeto para el espejo 2, su imagen en éste es, a su vez, un punto $P''_{1,2}$
- P'_2 se debe a los rayos procedentes del objeto que se reflejan directamente en el espejo 2
- P'_2 no puede ser objeto del espejo 1



Pregunta

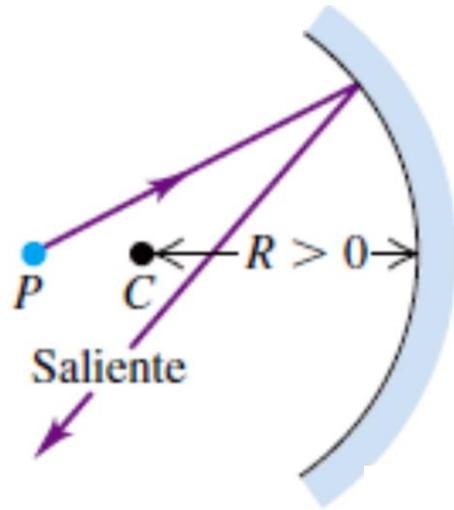
Imagen de un objeto puntual: Espejo esférico

Consideremos el caso de un **espejo esférico** con radio de curvatura R , con su lado **cóncavo** hacia la luz incidente.



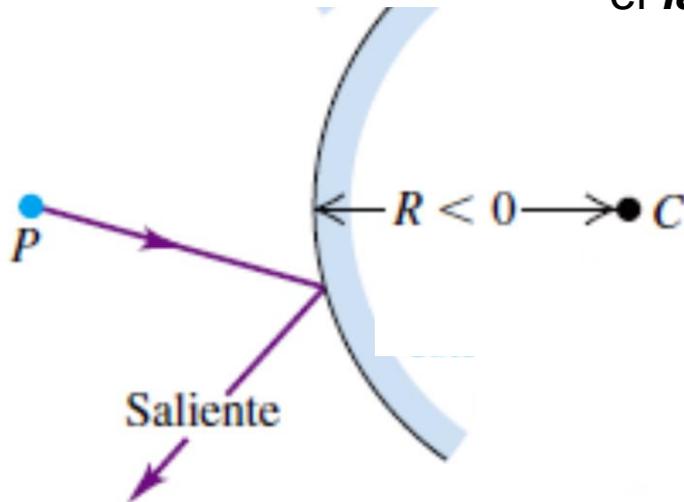
- la distancia de P a V es mayor que R
- el rayo PV , que pasa por C , incide de forma normal en el espejo y se refleja sobre sí mismo
- el rayo PB , a un ángulo α con respecto al eje, incide en el espejo en B , donde los ángulos de incidencia y reflexión son θ
- el rayo reflejado interseca el eje óptico en el punto P'
- todos los rayos provenientes de P intersecan el eje en el mismo punto P' , **siempre y cuando el ángulo α sea pequeño**. Luego divergen a partir de P' como si hubieran nacido de este punto.
- el punto P' es, entonces, la **imagen** del punto de objeto P

Por consiguiente, **P' es una imagen real.**



- el punto de objeto P está del mismo lado que la luz incidente, por lo que, de acuerdo con la primera regla de signos, **s es positiva**.
- el punto de imagen P' está del mismo lado que la luz reflejada, de modo que, de acuerdo con la segunda regla de signos, la distancia de imagen **s' también es positiva**
- el centro de curvatura C está del mismo lado que la luz reflejada, así que, según la tercera regla de signos,

R siempre es **positivo** cuando la **reflexión** ocurre en el **lado cóncavo** de una superficie



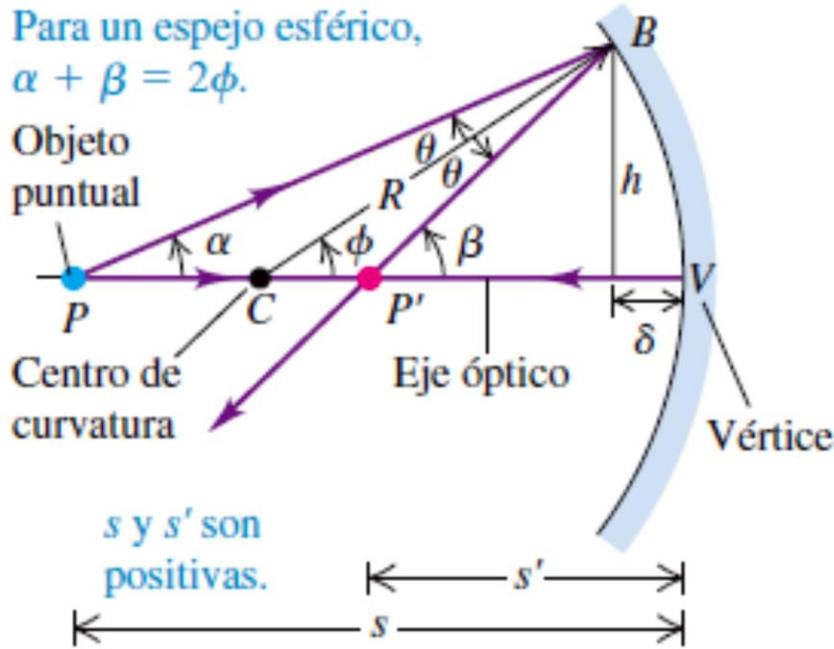
Relación objeto-imagen

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

Objeto
 puntual

Centro de
 curvatura

s y s' son
 positivas.



Un ángulo externo de un triángulo es igual a la suma de los dos ángulos internos opuestos.

los triángulos PBC y $P'BC$, teorema

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

Reemplazando θ ,

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

definimos, h y δ ;

escribimos las tangentes de los ángulos (s , s' y R son positivas)

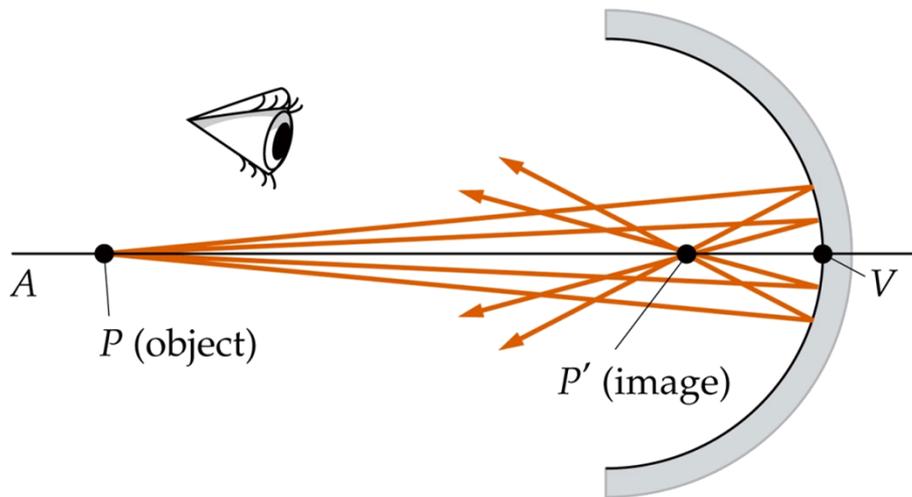
$$\tan \alpha = \frac{h}{s - \delta} \quad \tan \beta = \frac{h}{s' - \delta} \quad \tan \phi = \frac{h}{R - \delta}$$

si el ángulo α es pequeño, los ángulos β y ϕ también lo son. **Aproximaciones.**

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

sustituyendo y reemplazando, obtenemos

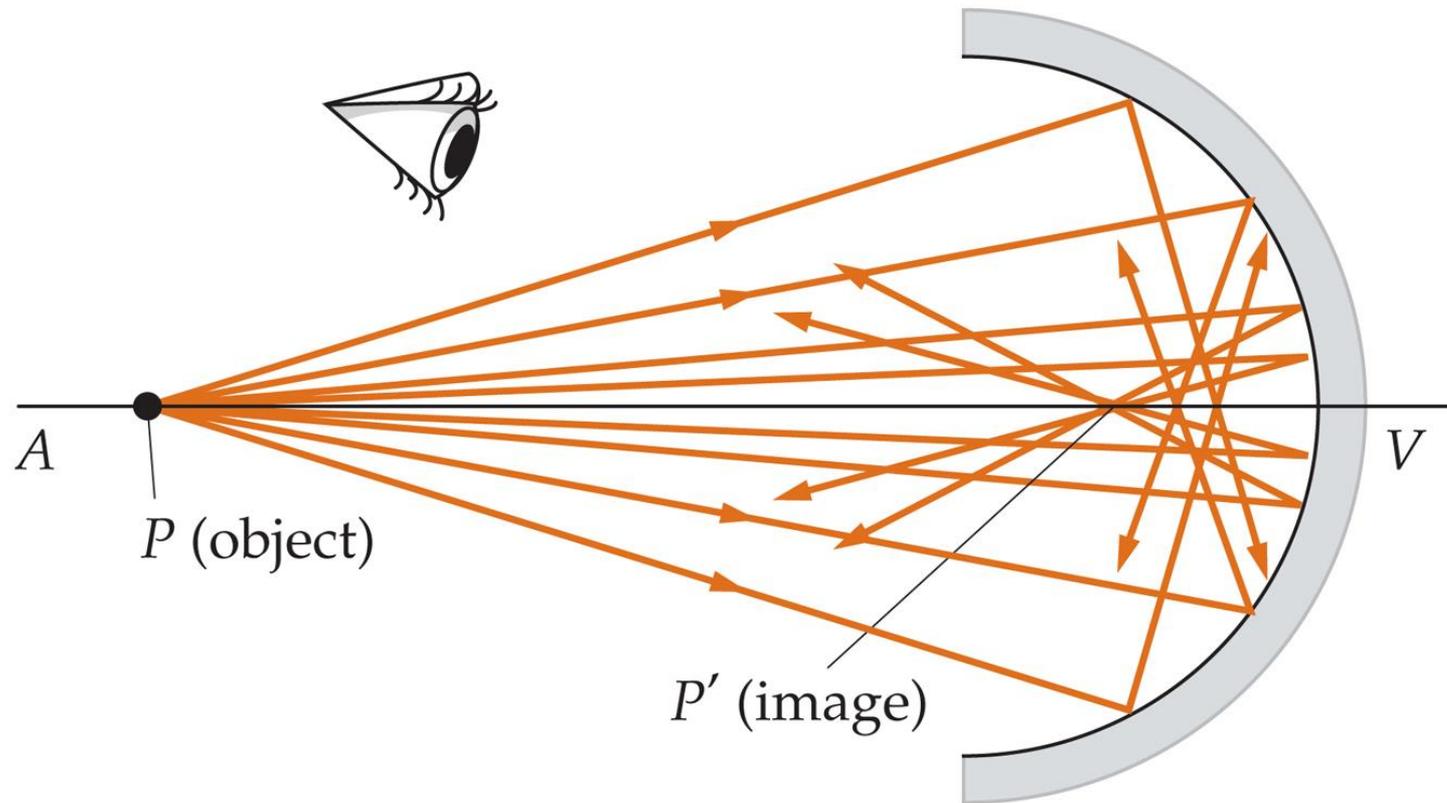
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$



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

$$R = \infty$$

- Esta ecuación no contiene el ángulo α . Por lo tanto, **todos** los rayos provenientes de P que forman ángulos suficientemente pequeños con el eje se intersecan en P' después de reflejarse; esto comprueba lo que antes afirmamos.
- Estos rayos, casi paralelos al eje y próximos a él, se llaman **rayos paraxiales**.
- Debido a que todos estos rayos reflejados convergen en el punto de imagen, a los *espejos cóncavos* también se les llama **espejos convergentes**.

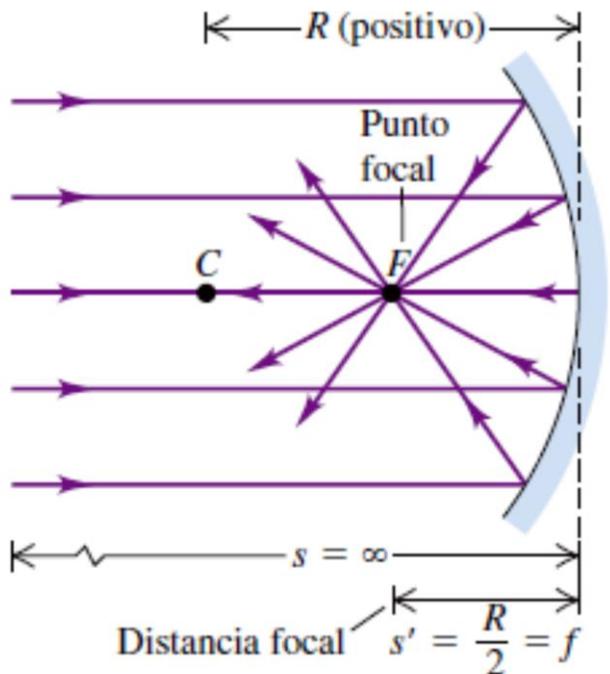


Los rayos no-paraxiales, que inciden sobre el espejo en puntos alejados del eje AV , no se reflejan pasando por el punto imagen P' que definen los rayos paraxiales. Estos rayos no-paraxiales forman una imagen borrosa. Esta propiedad de los espejos esféricos se llama **aberración esférica**.

Punto focal y distancia focal en un espejo cóncavo

Cuando el punto del objeto P está muy lejos del espejo esférico ($s = \infty$), los rayos entrantes son paralelos.

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

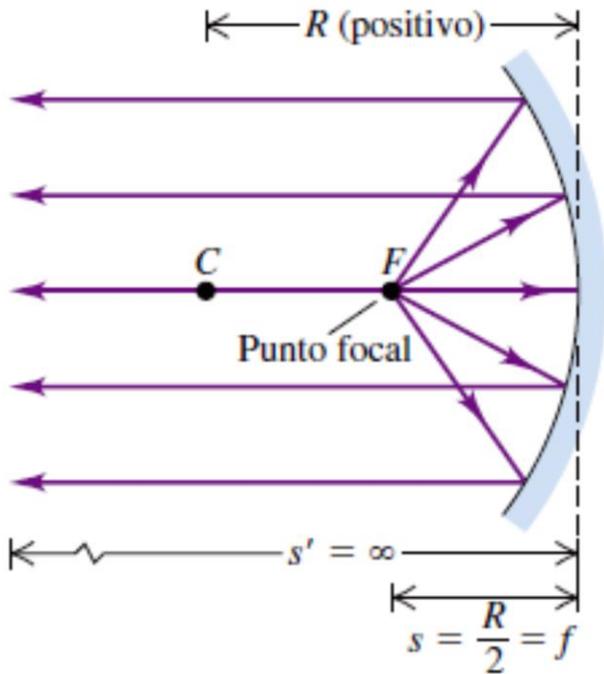


El punto F donde los rayos paralelos incidentes convergen se llama **punto focal** o **foco**.

La distancia del vértice al punto focal, que se denota con f , recibe el nombre de **distancia focal**.

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

Ahora el *objeto* se encuentra en el punto focal F , por lo que la distancia de objeto es:



$$s = f = R/2!$$

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

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

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

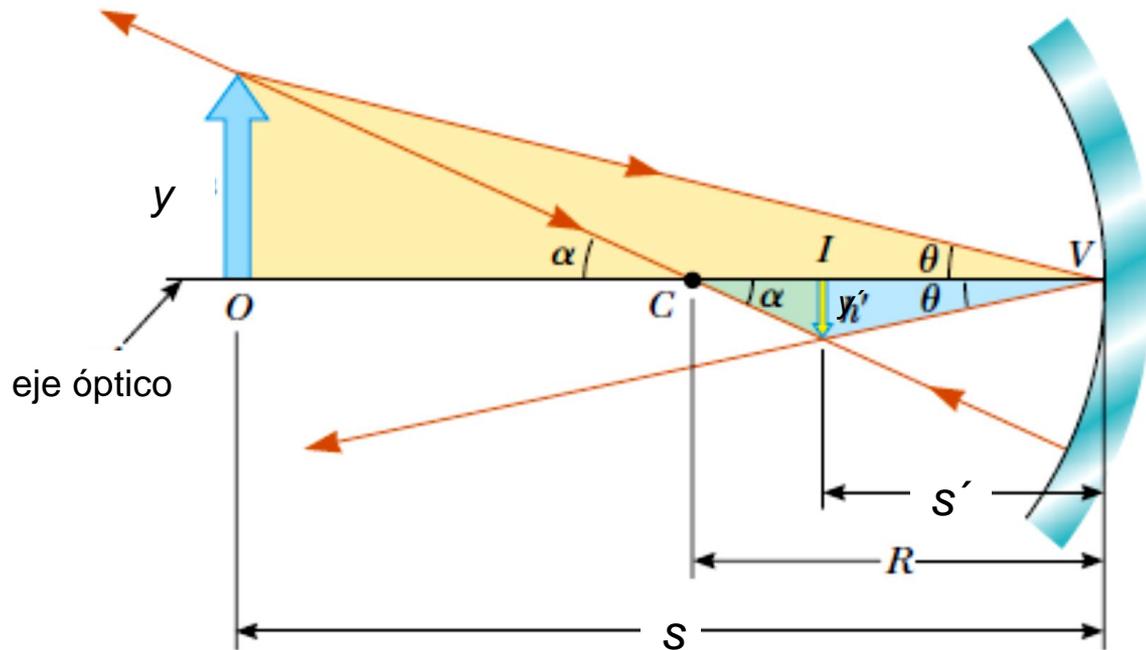
De esta manera, el punto focal F de un espejo esférico tiene las siguientes propiedades:

1. *todo rayo entrante paralelo al eje óptico se refleja a través del punto focal*
2. *todo rayo entrante que pasa por el punto focal se refleja paralelamente al eje óptico.*

La relación entre las distancias de objeto y de imagen de un espejo en términos de la distancia focal f es:

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

Imagen de un objeto: espejo esférico



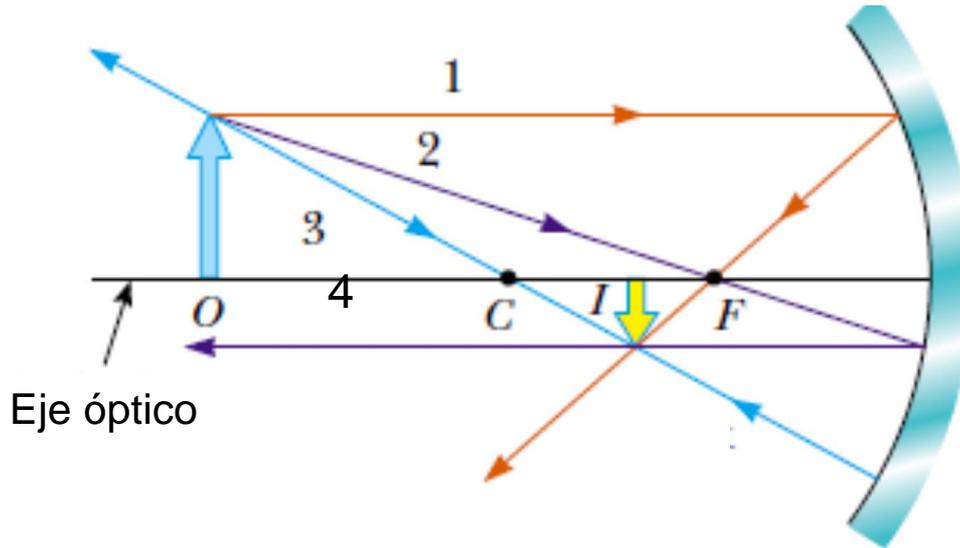
$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

Si m es **positiva**, la imagen es **derecha** en comparación con el objeto; si m es **negativa**, la imagen es **invertida** con respecto al objeto, como en la figura.

En el caso de un espejo *plano*, $s = -s'$, por lo que $y' = y$, y $m = +1$; puesto que m es positiva, la imagen es *derecha*.

Métodos gráficos para espejos

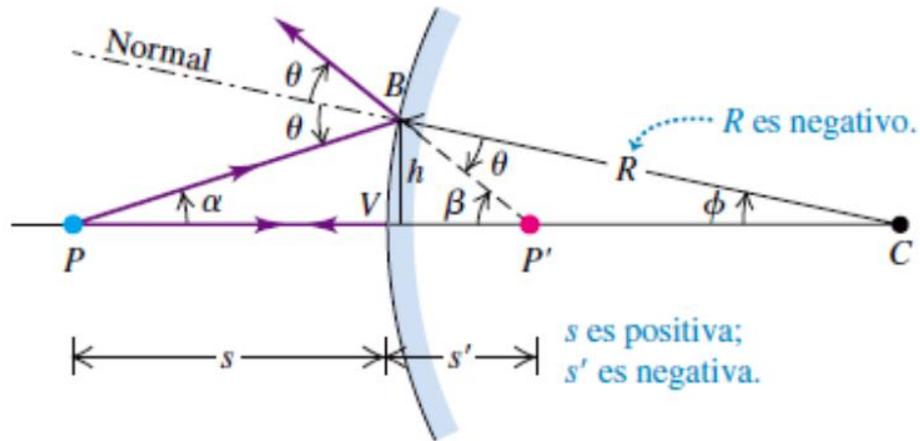
Para esta construcción siempre se elige un punto de objeto que *no* esté sobre el eje óptico. En la figura se muestran cuatro rayos que, por lo general, se dibujan con facilidad, los cuales se conocen como **rayos principales**.



1. *Un rayo paralelo al eje*, después de reflejarse, pasa por el punto focal F de un espejo cóncavo.
2. *Un rayo que pasa por el punto focal F (o avanza hacia éste)* se refleja paralelamente al eje.
3. *Un rayo a lo largo del radio que pasa por el centro de curvatura C , o se aleja de él*, interseca la superficie en dirección normal y se refleja de regreso por su trayectoria original.
4. *Un rayo que incide en el vértice V* se refleja, formando ángulos iguales con el eje óptico.

Formación de imagen por un espejo convexo.

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



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

