

# FISICA I UTN-FRC

## UNIDAD 02: OPTICA GEOMÉTRICA

### ESPEJOS PLANOS – ESPEJOS ESFÉRICOS – APLICACIONES

#### (SEGUNDA PARTE)

#### Introducción:

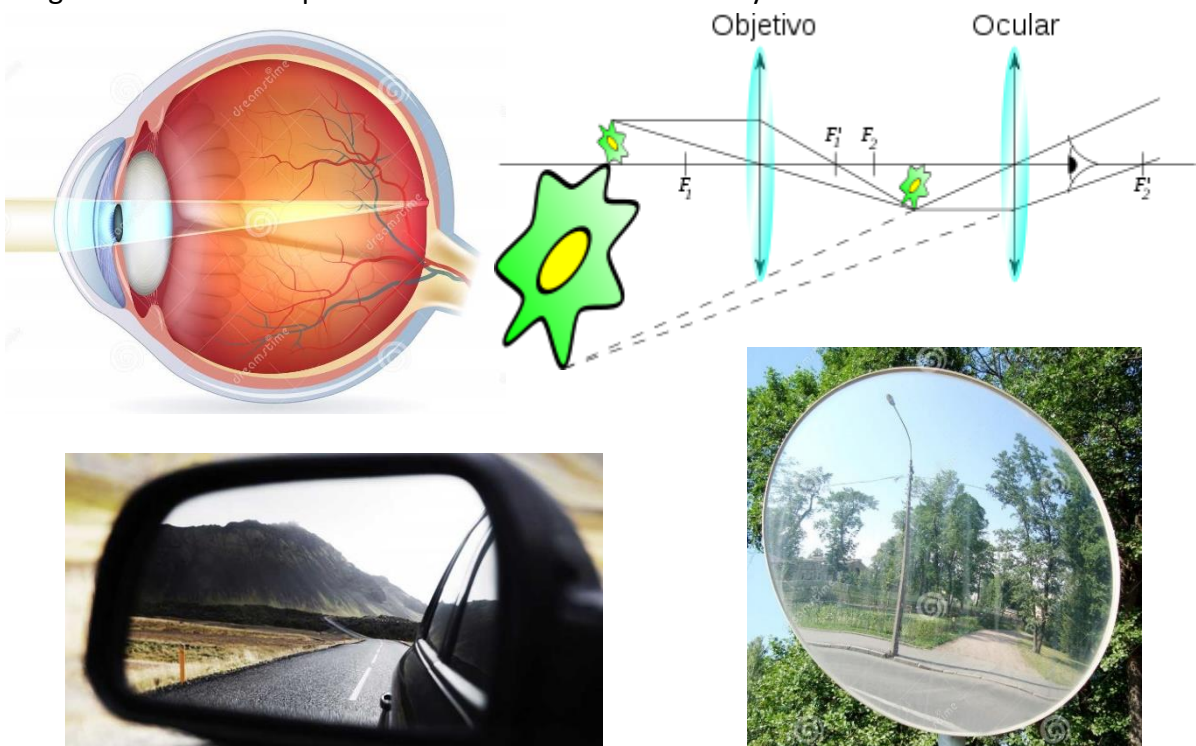
En esta sección trataremos de explicar cómo es la formación de imágenes cuando la luz interactúa con superficies planas y esféricas. En cualquiera de los casos se pueden formar imágenes de un determinado objeto por reflexión o Refracción, que son los dos fenómenos físicos que presentáramos en el material anterior.

Los elementos ópticos protagonistas en esta instancia del aprendizaje serán los espejos planos y esféricos, y también las lentes delgadas.

Las imágenes formadas por cada uno de estos elementos ópticos podrán ser derechas o invertidas y de igual, mayor o menor tamaño que el objeto. Incluso guardarán distintas posiciones o ubicaciones respecto del elemento óptico.

Estas imágenes formadas por reflexión/refracción son muy utilizadas en muchos aparatos de uso cotidiano, entre ellos, el espejo retrovisor de un vehículo, los espejos utilizados para peinarse o maquillarse, las cámaras fotográficas, los microscopios ópticos, los telescopios, el mismo ojo humano, etc.

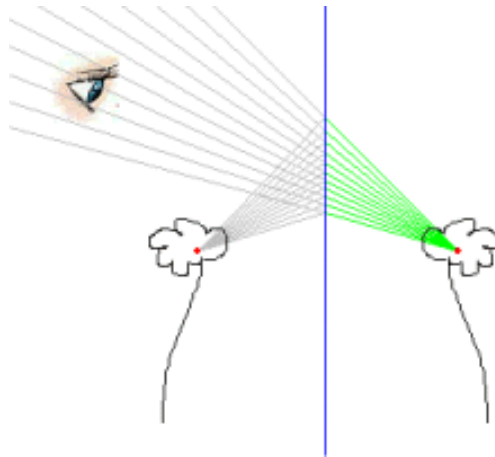
Se aclara además, que en todos los ensayos que presentaremos a continuación, se seguirá utilizando la aproximación de la luz basada en rayos luminosos.



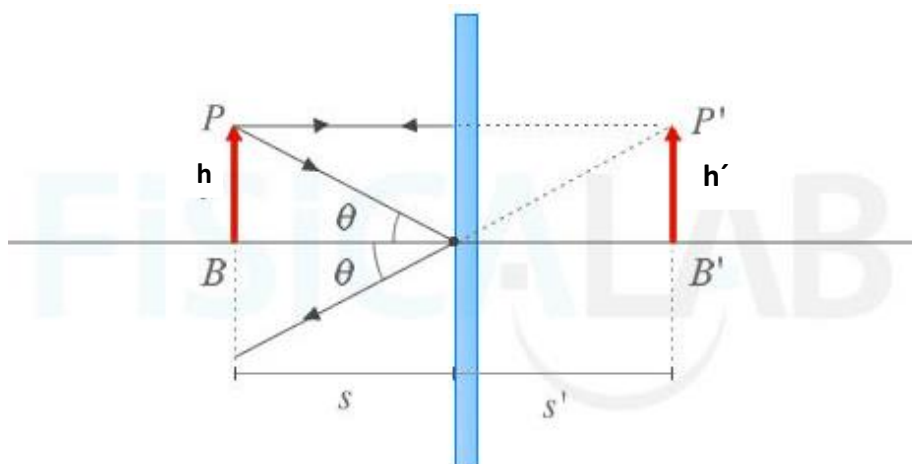
### Imágenes formadas por Espejos Planos:

Es uno de los elementos ópticos más sencillos. Se trata de un dispositivo plano con una superficie pulida y brillante en donde un objeto enfrentado a él se puede reflejar y formar una imagen. Entonces es de pensar que **la Ley de Reflexión** vista en la clase pasada, nos ayudará a entender cómo se produce la formación de la imagen.

Si se toma una fuente puntual de luz y se la coloca a una distancia  $s = \text{distancia objeto}$  en frente del espejo, **sus rayos se reflejarán** divergiendo, es decir abriéndose. Si los rayos que llegan a los ojos del observador se prolongan hacia atrás hasta su intersección, dichos rayos parecen provenir desde un punto “I” denominado imagen, situado detrás del espejo. Esta fuente aparente estará ubicada a una distancia  $s' = \text{distancia imagen}$ .



Si ahora en vez de tomar una fuente puntual de luz, se coloca un objeto de altura “ $h$ ” en frente del espejo plano y a una distancia “ $s$ ”, ocurrirá la siguiente marcha de rayos:



Este diagrama sencillo de dos rayos incidentes, nos muestra que la imagen se forma nuevamente detrás del espejo, de pie, a una distancia “ $s'$ ” pero con una altura “ $h'$ ”; donde de ahora en más, la altura de la imagen se denominará  $h' = \text{altura imagen}$ .

Se concluye entonces que, la imagen para un espejo plano siempre:

1. está **de pie**.
2. se encuentra ubicada **detrás del espejo y a la misma distancia** del espejo que el objeto, siendo de ahora en mas:  $s = -s'$ . El signo menos es porque la imagen se forma detrás del espejo respetando una convención de signos propia de la Óptica Geométrica.
3. es de **igual tamaño** que el objeto, porque  $h=h'$ .
4. es **virtual** porque se forma por la prolongación de los rayos reflejados.

Todo lo expresado en los cuatro tópicos anteriores se justifica a través de la Geometría, es decir, por la formación de dos triángulos rectángulos idénticos a partir de la marcha de los rayos incidentes, los reflejados y la prolongación de estos últimos.

Si definimos a  $M = \frac{h'}{h}$  **(6)** como el aumento o también llamado aumento lateral, se puede deducir por todo lo expuesto hasta acá, que en el espejo plano vale 1, verdad?

5. Una característica también importante del espejo plano, es que la imagen obtenida **cambia la derecha por la izquierda y la izquierda por la derecha**.



Un ejemplo sencillo, que puede hacer usted en su casa, es levantar el brazo derecho en frente de un espejo plano y así observará el brazo izquierdo reflejado en él...

Le sugiero que amplíe toda esta información con el texto y agregue otros ejemplos!

### Imágenes formadas por Espejos Esféricos:

Este tipo de espejo, como su nombre lo indica es una parte de una esfera. Si la luz se refleja en su superficie interna brillante se dice que es **cóncavo**, de lo contrario, si la luz se refleja en la superficie externa brillante se denomina **convexo**.

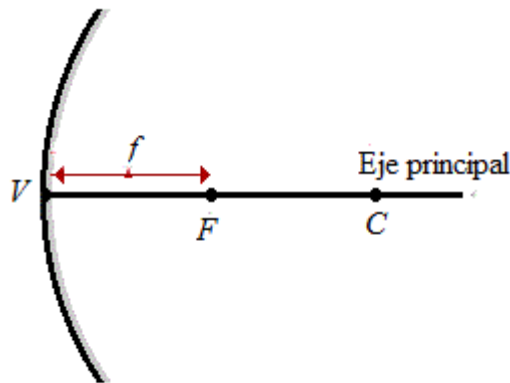
Sus elementos son:

**R**= radio de curvatura y su centro se encuentra en el punto **C**.

**V**= vértice del espejo.

**Eje principal**= que es la recta que une a los puntos **C** con **V** y se prolonga de ambos lados.

**f**=foco del espejo ubicada a la mitad del radio **R**.



Si tomamos nuevamente una fuente de luz puntual (como lo hiciéramos con el espejo plano) y la colocamos en un punto **O** que se encuentra sobre el eje principal, más allá del punto **C**, se observa que los rayos que emite la fuente se reflejan y se intersecan todos en el mismo punto denominado imagen. Esta imagen es real y aparece de nuevo en esta instancia las distancias:

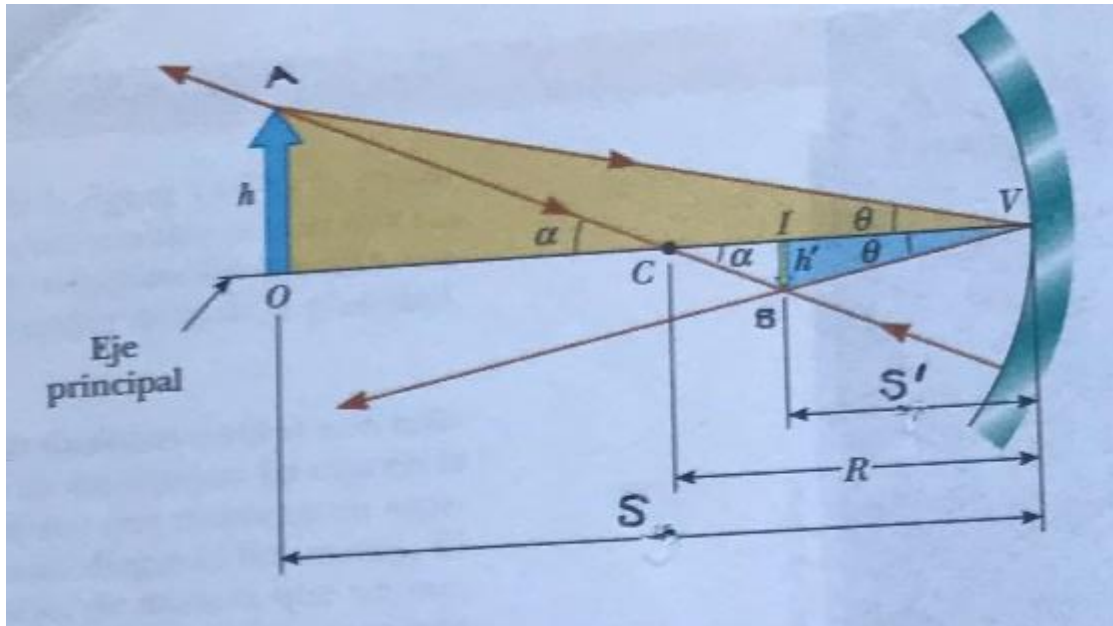
$$s = \text{distancia objeto} \quad \text{y} \quad s' = \text{distancia imagen}$$

Lo invito a que busque una imagen en el texto y compare si son iguales o distintas...

A continuación vamos a tomar otro espejo esférico cóncavo y le colocaremos en frente de él un objeto de altura "h" a una distancia "s". Si tomamos dos rayos principales que, saliendo de la cabeza del objeto se reflejen en el espejo, observaremos que por el fenómeno de reflexión, el primero que pasa por el centro de curvatura se refleja en sí mismo; y el segundo que pasa por el vértice se refleja formando el mismo ángulo  $\theta$  de incidencia y de reflexión. La intención es demostrar la Ecuación General de los Espejos

Esféricos que asegura que:

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



Tomado al triángulo AVO (amarillo), se puede escribir:  $\operatorname{tg} \theta = \frac{h}{s}$  con lo cual despejando "h", se obtiene:

$$h = s \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (7)$$

Tomado al triángulo BVI (celeste), se puede escribir:  $\operatorname{tg} \theta = \frac{-h'}{s'}$  con lo cual despejando "h'", se obtiene:

$$h' = -s' \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (8)$$

El signo menos indica que la imagen está invertida y es por eso que al "h'" se lo toma negativo (por convención).

Retomado (6), es decir:  $M = \frac{h'}{h}$  y reemplazando (7) y (8) en ella, se tiene:

$$M = \frac{-s' \cdot \operatorname{tg} \theta}{s \cdot \operatorname{tg} \theta} \text{ lo que finalmente queda,}$$

$$M = -\frac{s'}{s} \quad (9)$$

Pero también, analizando ahora al triángulo ACO, se puede escribir:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{s-R}$  y despejando "h", se obtiene:

$$h = (s - R) \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (10)$$

Tomado al triángulo ICV, se puede escribir:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{-h'}{R-s'}$  con lo cual despejando "h'", se obtiene:

$$h' = -(R - s') \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (11)$$

Retomado nuevamente (6), es decir:  $M = \frac{h'}{h}$  y reemplazando ahora (10) y (11) en ella, se obtiene:

$$M = \frac{\cancel{-(R-s') \cdot \cancel{\text{tg } \alpha}}}{\cancel{(s-R) \cdot \cancel{\text{tg } \alpha}}} \text{ con lo cual queda,}$$

$$M = - \frac{(R-s')}{(s-R)} \quad (12)$$

Entonces igualando (9) con (12) y operando matemáticamente se tiene:

$$-\frac{s'}{s} = -\frac{(R-s')}{(s-R)}$$

y al cancelar los signos menos:

$$\frac{s'}{s} = \frac{(R-s')}{(s-R)}$$

luego, transponiendo términos:

$$s' \cdot (s-R) = s \cdot (R-s')$$

y aplicando la propiedad distributiva del producto respecto de la suma/resta:

$$s' \cdot s - s' \cdot R = s \cdot R - s \cdot s'$$

en donde, agrupando términos semejantes:

$$s' \cdot s + s \cdot s' = s \cdot R + s' \cdot R$$

y operando matemáticamente:

$$2 \cdot s' \cdot s = R \cdot (s + s')$$

con lo cual:

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

o sea:

$$\frac{\cancel{s}}{s' \cdot \cancel{s}} + \frac{\cancel{s}}{\cancel{s'} \cdot s} = \frac{2}{R}$$

lo que finalmente queda:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \quad (13)$$

Que se conoce como la **ECUACIÓN GENERAL DE LOS ESPEJOS ESFÉRICOS!**

Con esta Ley Física o fórmula, dada la distancia objeto “ $s$ ” y el radio “ $R$ ” del espejo, usted podrá averiguar por ejemplo a que distancia se forma la imagen, es decir, “ $s'$ ” despejándola. Qué interesante!!! Y esta ley es válida, independientemente si el espejo esférico es: cóncavo o convexo.

Más abajo daremos otros detalles de cómo será esa imagen, es decir si:

1. es **real** (porque se forma con la intersección de los propios rayos reflejados) o **virtual** (porque se forma con la prolongación de los rayos reflejados).
2. es **derecha** (porque su cabeza está hacia arriba y se forma por arriba del eje principal) o está **invertida** (porque su cabeza está hacia abajo y se forma por debajo del eje principal).
3. es de **mayor**, de **igual** o **menor** tamaño que el objeto (comparando los “ $h$ ” con los “ $h'$ ” o también utilizando la formulita del aumento “ $M$ ” que ya viéramos en espejos planos).

Muestro ahora otro razonamiento con figuras y manejo matemático para llegar a otra forma de la Ecuación General de los Espejos Esféricos, que en vez de utilizar el radio “ $R$ ” del espejo, involucra a la denominada distancia focal “ $f$ ”. En verdad la fórmula que sigue es tan usada como la anterior para resolver problemas de óptica, con lo cual deberemos tener muy presente a ambas.

Manos a la obra nuevamente y a comprender este procedimiento!!!

Entonces, si el objeto se encuentra muy alejado del espejo comparado con el valor del radio “ $R$ ”, es decir,  $s = \infty$ , con la fórmula (13) se tiene:

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

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

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

Y despejando la distancia imagen:

$s' = \frac{R}{2}$  y a este valor, en Óptica Geométrica, se lo denomina distancia focal “ $f$ ”, es decir que:

$$f = \frac{R}{2} \quad (14)$$

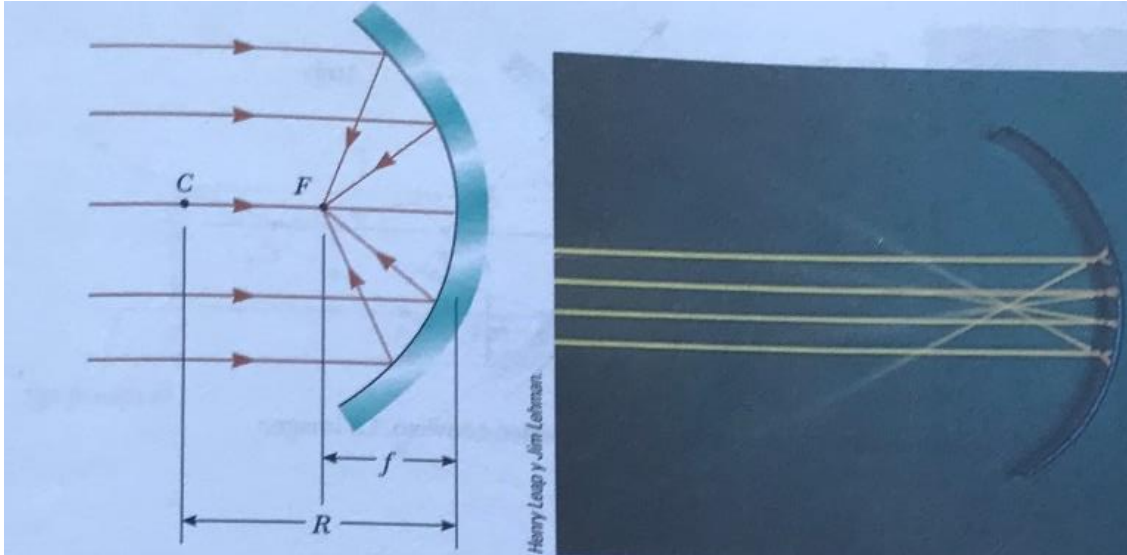
Con lo cual la fórmula (13) también se la puede escribir como:

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

(15)

y es muy poderosa también!

La siguiente figura ilustra lo que se acaba de calcular en el último párrafo:



Finalmente y para cerrar este tema, vamos a dar una **regla de los signos** que es muy importante tener en cuenta a la hora de usar estas dos últimas fórmulas para resolver problemas, a saber:

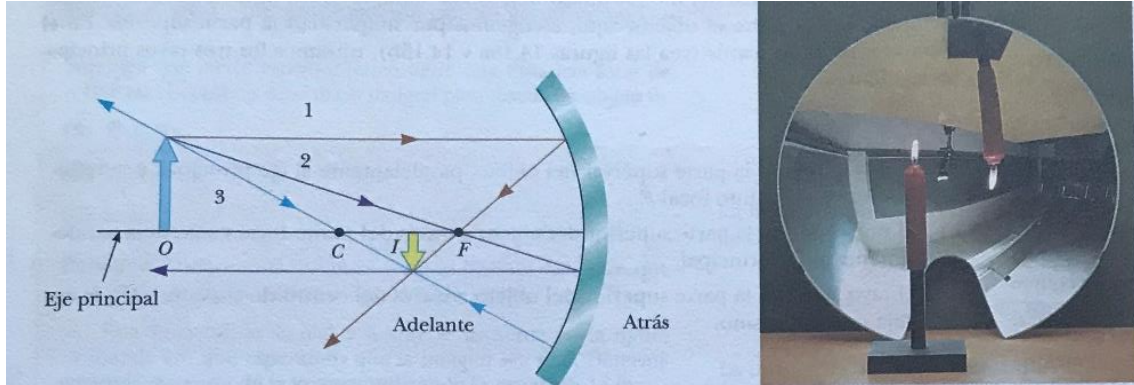
- “s” es positivo siempre.
- Si  $s' = (+)$  es porque la imagen se forma del mismo lado que pusimos al objeto, y si  $s' = (-)$  ocurre que la imagen se forma del otro lado del espejo.
- “R” y “f” son siempre positivos si los espejos son cóncavos; por el contrario, “R” y “f” son siempre negativos para espejos convexos.
- $M = (+)$  es si la imagen formada está de pie, y  $M = (-)$  si la imagen formada está invertida.
- Si “M” es más grande que 1, la imagen formada es de mayor tamaño que el objeto, y por el contrario si el valor de “M” es menor a 1 es que la imagen formada es de menor tamaño que el objeto.

También se puede complementar este trabajo de manera gráfica y para ello debemos entender qué son los **rayos principales** y cómo se dibujan. Los rayos principales son tres y los llamaremos: rayo 1, rayo 2 y rayo 3, a saber:

1. todo rayo que saliendo de la cabeza del objeto viaja paralelo al eje principal, se refleja siempre pasando por el foco.
2. todo rayo que saliendo de la cabeza del objeto viaja pasando por el foco, se refleja siempre paralelo al eje principal.
3. todo rayo que pasa por el centro de curvatura del espejo, se refleja en sí mismo.

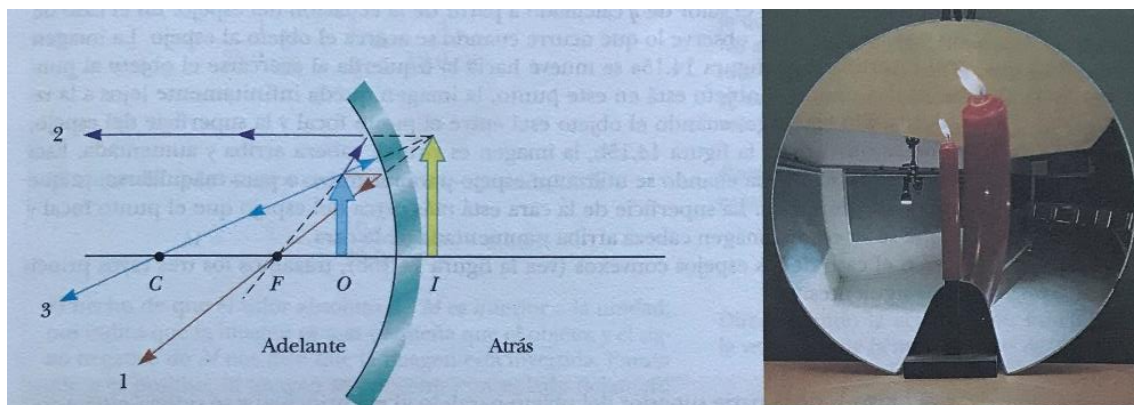


Esta última información se ejemplifica a continuación con tres interesantes casos. Tratará usted de interpretarlos y corroborará además que va de la mano con **la regla de los signos** que especificáramos en un párrafos anteriores... a pensar entonces!



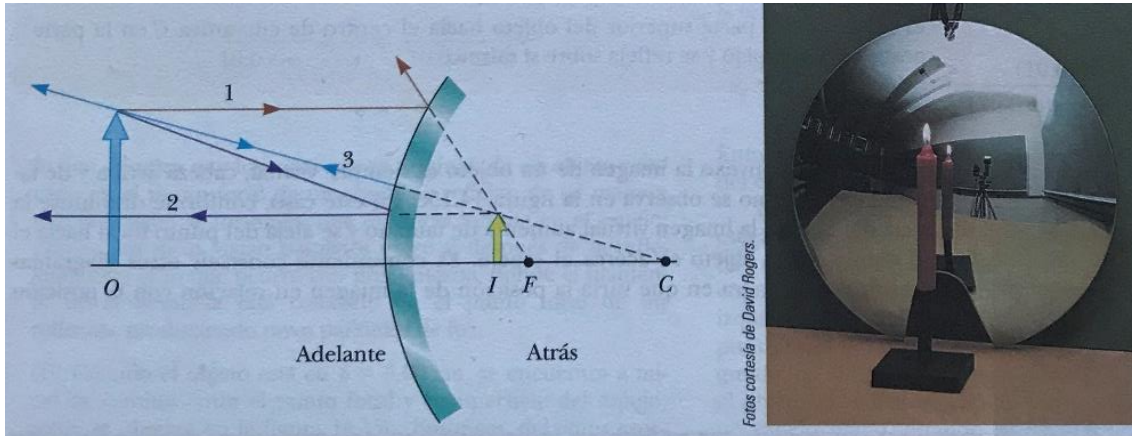
#### En el primer ejemplo:

- “s” es positivo siempre.
- $s' = (+)$  porque la imagen se forma del mismo lado que pusimos al objeto. Esta imagen es **real** porque se forma con la intersección de los propios rayos reflejados.
- “R” y “f” son positivos porque el espejo es cóncavo.
- $M = (-)$  porque la imagen formada está invertida.
- “M” es menor a 1, por lo tanto la imagen formada es de menor tamaño que el objeto.



#### En el segundo ejemplo:

- “s” es positivo siempre.
- $s' = (-)$  porque la imagen se forma del otro lado del espejo. Esta imagen es **virtual** porque se forma con la prolongación de los rayos reflejados.
- “R” y “f” son positivos porque el espejo es cóncavo.
- $M = (+)$  porque la imagen formada está de pie.
- “M” es mayor a 1 por lo tanto la imagen formada es de mayor tamaño que el objeto.

**En el tercer ejemplo:**

- “ $s$ ” es positivo siempre.
- $s' = (-)$  porque la imagen se forma del otro lado del espejo. Esta imagen es **virtual** porque se forma con la prolongación de los rayos reflejados.
- “ $R$ ” y “ $f$ ” son negativos porque el espejo es convexo.
- $M = (+)$  porque la imagen formada está de pie.
- “ $M$ ” es menor a 1 por lo tanto la imagen formada es de menor tamaño que el objeto.

Es todo para esta clase y les deseo éxitos!!!

A trabajar con la resolución de problemas. Adelante!!!!

Ing. Juan Lancioni.

**NOTA:** las imágenes y fotos fueron tomadas de la web y del libro de Serway – Jewet, séptima edición.