

ÓPTICA

La luz es una forma de energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas.

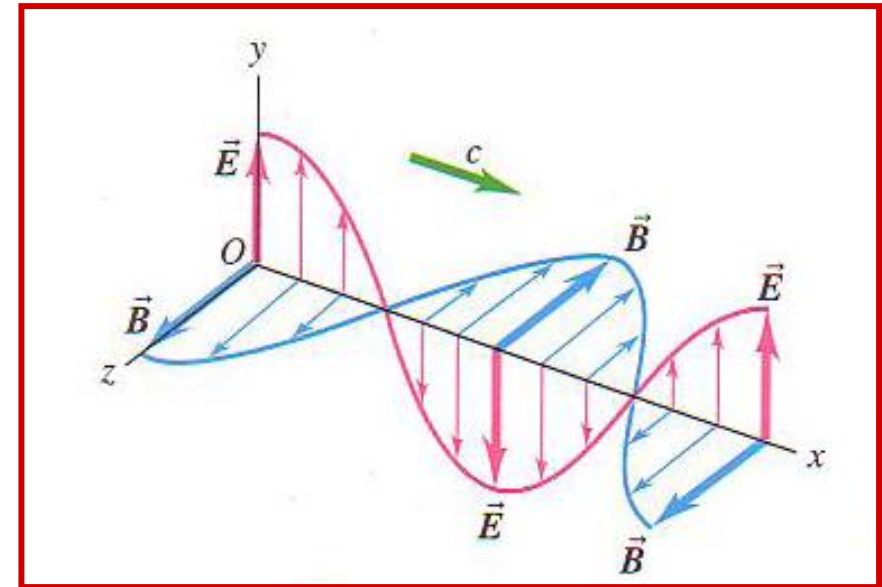
Es decir:

una oscilación combinada de **campos eléctricos (E)** y **magnéticos (B)**, que se generan y se regeneran mutuamente al desplazarse por el espacio.

Luz = onda electromagnética transversal

En una onda luminosa:

- E y B oscilan en planos **perpendiculares entre sí**,
- ambos son **perpendiculares** a la dirección de propagación,
- y la onda viaja a **velocidad constante $c = 3 \times 10^8$ m/s**.



La **óptica** es la rama de la física que estudia la **luz**, su **propagación** y sus **interacciones con la materia**.

Según el fenómeno que queramos analizar, podemos dividirla en dos grandes campos:

- **Óptica geométrica**
- **Óptica física**

La **óptica física** estudia la luz considerando su naturaleza ondulatoria.

Aquí la luz se describe como una **onda electromagnética transversal**, y los efectos de **interferencia**, **difracción** y **polarización** son esenciales.

Fenómenos característicos:

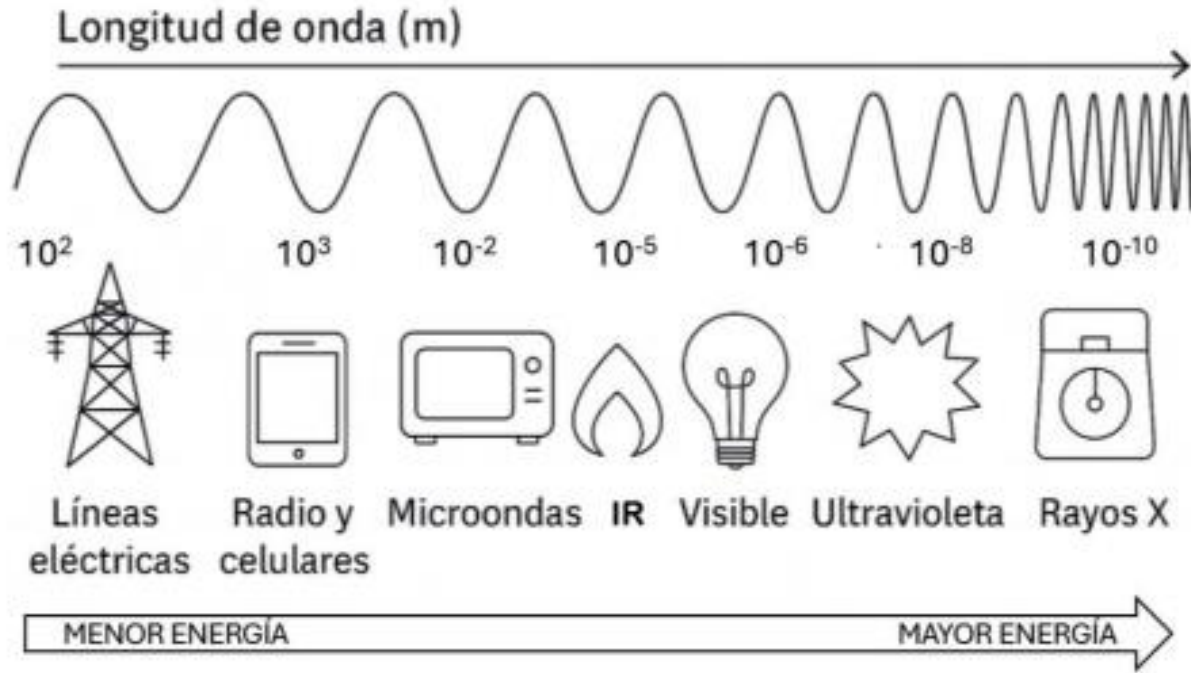
- **Interferencia:** superposición de ondas luminosas (máximos y mínimos de intensidad).
- **Difracción:** desviación de la luz al atravesar rendijas o bordes.
- **Polarización:** orientación preferencial del campo eléctrico de la onda.

La **óptica geométrica** trata la luz como un conjunto de rayos rectilíneos que se propagan en línea recta y cambian de dirección al reflejarse o refractarse.

La **óptica física** es un modelo adecuado cuando la longitud de onda es comparable con las dimensiones del objeto, obstáculo o abertura iluminada, de modo que los efectos de difracción e interferencia no pueden despreciarse.

La **óptica geométrica** resulta un modelo adecuado cuando la longitud de onda es muy pequeña comparada con el tamaño del objeto, obstáculo o abertura iluminada que los efectos de difracción e interferencia pueden despreciarse.

Espectro electromagnético



Región del espectro	Longitud de onda aproximada (λ)	Frecuencia (f)
Ondas de radio	$> 10^{-1}$ m (desde km hasta cm)	$< 3 \times 10^9$ Hz
Microondas	10^{-3} a 10^{-1} m	3×10^9 a 3×10^{11} Hz
Infrarrojo (IR)	7×10^{-7} a 10^{-3} m	3×10^{11} a 4×10^{14} Hz
Luz visible	3.8×10^{-7} a 7.8×10^{-7} m	4×10^{14} a 8×10^{14} Hz
Ultravioleta (UV)	10^{-8} a 3.8×10^{-7} m	8×10^{14} a 3×10^{16} Hz
Rayos X	10^{-11} a 10^{-8} m	3×10^{16} a 3×10^{19} Hz
Rayos gamma (γ)	$< 10^{-11}$ m	$> 3 \times 10^{19}$ Hz

Luz visible		
Color	Frecuencia	Longitud de onda
Violeta	668–789 THz	380–450 nm
Azul	631–668 THz	450–475 nm
Ciano	606–630 THz	476–495 nm
Verde	526–606 THz	495–570 nm
Amarillo	508–526 THz	570–590 nm
Naranja	484–508 THz	590–620 nm
Rojo	400–484 THz	620–750 nm

Frentes de onda y rayos

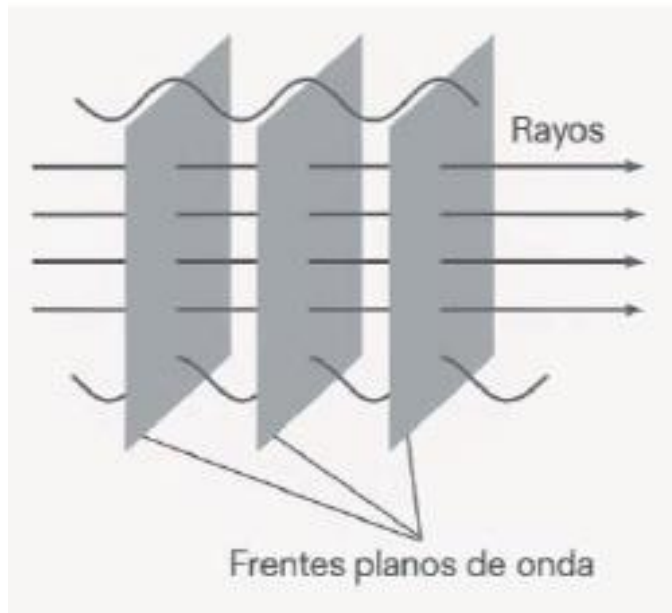
Un frente de ondas es la superficie imaginaria que une todos los puntos de un medio que están en la misma fase de vibración. Para una onda que se propaga en una única dirección, por ejemplo, un láser, los frentes de onda son planos

Un rayo es la línea que indica la dirección de propagación de la energía de la onda

Los rayos son perpendiculares a los frentes de onda y permiten representar el camino que sigue la luz en el espacio

Cuando un rayo incide en la superficie de separación de dos medios materiales pueden suceder que:

- Que se refleje y vuelva al medio de donde proviene (rayo reflejado)
- Que se transmita hacia el otro medio (rayo refractado)



Índice de refracción (n)

Representa en qué medida se reduce la velocidad de la luz cuando se propaga en un medio material. Su valor depende de la longitud de onda de la fuente de luz empleada para medirlo.

$$n = \frac{c}{v} \quad c = 300.000 \text{ km/s}$$

Dado que al que cambiar de medio la frecuencia de la onda luminosa no cambia, pero sí su longitud:

$$n = \frac{\lambda_0}{\lambda_m}$$

Tabla de índices de refracción según sustancia para incidencia de luz con $\lambda_0 = 670 \text{ nm}$ (amarilla)

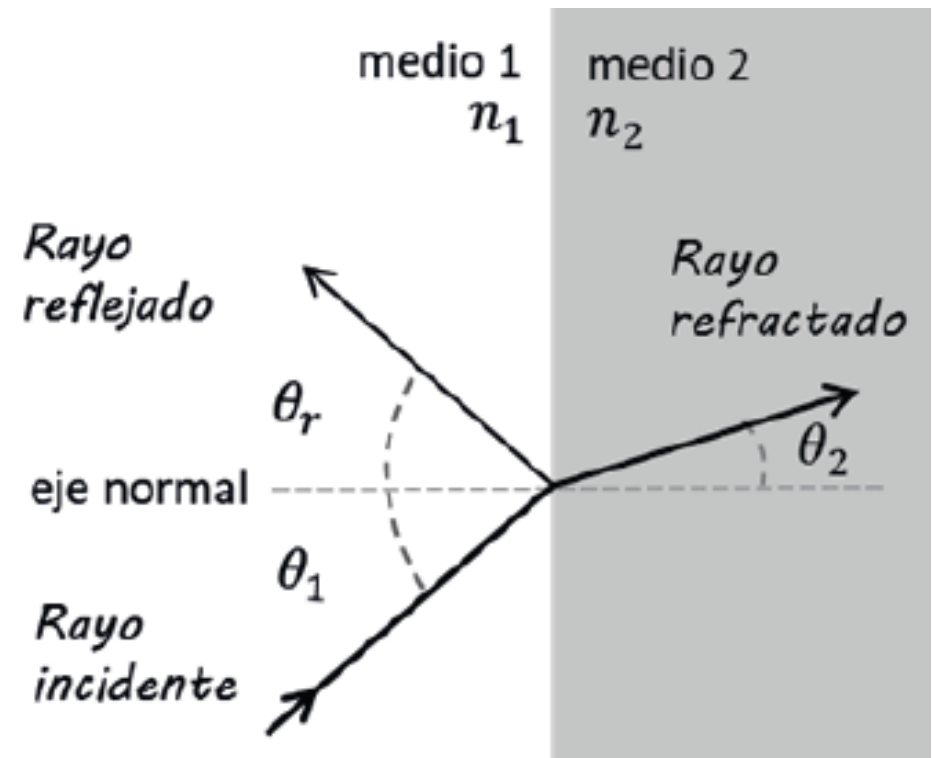
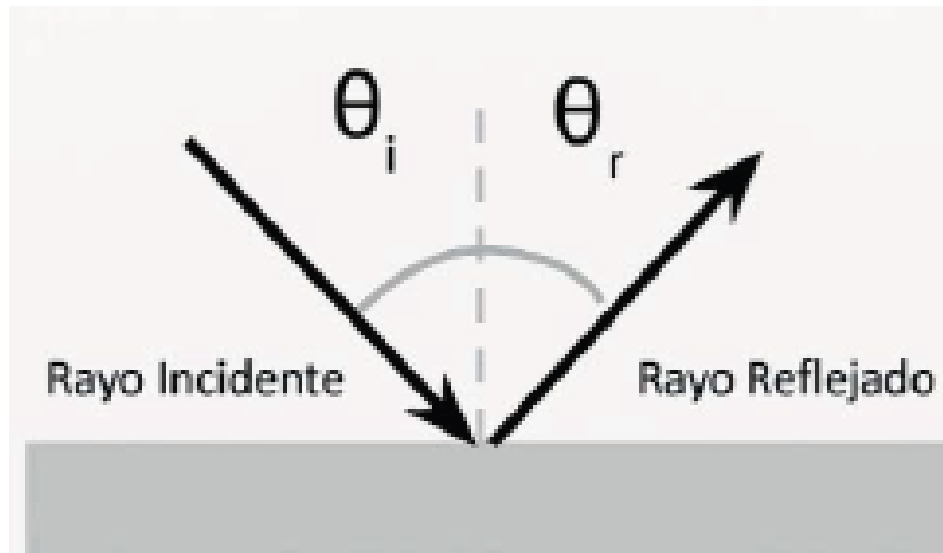
Sólidos		
	Hielo (H_2O)	1,309
	Fluorita (CaF_2)	1,434
	Poliestireno	1,49
	Sal de roca (NaCl)	1,544
	Circonio ($\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$)	1.923
	Rutilo (TiO_2)	2,62
Vidrios		
	Blanco (Crown)	1,52
	Cristal ligero	1,58
	Cristal denso	1,66
Líquidos a 20°C		
	Metanol (CH_3OH)	1,329
	Agua (H_2O)	1,333
	Glicerina	1,473
	Disulfuro de Carbono (CS_2)	1,628

Color		Medio: Agua		Medio: Vidrio tipo Crown	
Longitud de onda λ (nm)	Sensación visual	Velocidad v (km/s)	Índice de refracción n	Velocidad v (km/s)	Índice de refracción n
670,8	Rojo	225.272	1,3308	198.144	1,513
589,3	Amarillo	224.900	1,333	197.622	1,517
486,4	Cian	224.211	1,3371	196.199	1,528
404,7	Violeta	223.259	1,3428	195.687	1,532

Reflexión y refracción

Ley de la reflexión: $\theta_i = \theta_r$

Ley de la refracción (ley de Snell): $n_1 \text{sen}\theta_i = n_2 \text{sen}\theta_t$



Reflexión total interna

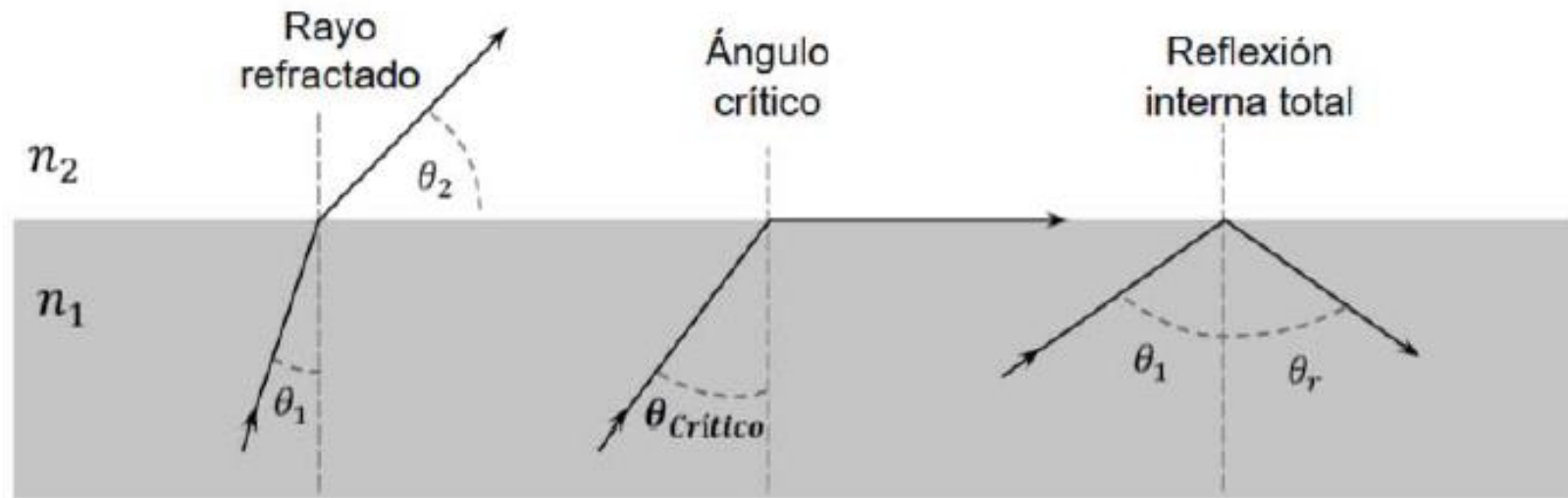
Este fenómeno sólo puede producirse cuando un rayo de luz incide sobre un medio de menor índice de refracción del que posee inicialmente

Cuando el ángulo de refracción alcance un valor de 90° , el ángulo de incidencia habrá alcanzado el denominado ángulo crítico θ_c y sólo podrá reflejarse

$$n_1 \text{sen}(\theta_1) = n_2 \text{sen}(\theta_2)$$

$$n_1 \text{sen}(\theta_c) = n_2 \text{sen}(90^\circ) = n_2$$

$$\text{sen}(\theta_c) = \frac{n_2}{n_1}$$



Elementos ópticos

- Prismas
- Espejos
- Dioptras
- Lentes

Instrumentos ópticos

- Ojo humano
- Lupa
- Microscopio
- Telescopio
- Cámara fotográfica
- Proyector de imagen

REGLA DE LOS SIGNOS PARA ELEMENTOS ÓPTICOS.

Para poder obtener resultados analíticos consistentes en problemas que intervienen elementos ópticos, necesitamos apelar a algún criterio que establezca los signos correspondientes a las posiciones del objeto, su imagen, y el centro de curvatura de la superficie reflectora o refractiva.

- 1) Posición del Objeto: cuando el objeto está **del mismo lado** de la superficie reflectora o refractiva **que la luz entrante**, la posición del objeto (S) es **positiva**. En caso contrario se considera negativa.
- 2) Posición de la Imagen: cuando la imagen está **del mismo lado** de la superficie reflectora o refractiva **que la luz saliente**, la posición de la imagen (S') es **positiva**. En caso contrario, es negativa.
- 3) Radio de curvatura del elemento óptico: cuando el centro de curvatura (CC) del elemento óptico está **del mismo lado** que la **luz saliente**, el radio de curvatura (R) se considera **positivo**; en caso contrario, será negativo.

Lentes

Una **lente** es un cuerpo transparente (generalmente vidrio o plástico) limitado por **dos superficies refractantes** (planas o curvas), que desvía la trayectoria de los rayos de luz por **refracción**.

Su función es **convergir** o **divergir** los rayos para formar imágenes.

Una lente se considera **delgada** cuando su **espesor** (la distancia entre sus dos caras) es **muy pequeño** comparado con:

- su radio de curvatura,
- y con las distancias objeto e imagen.

Bajo esa suposición:

- No distinguimos las dos caras de la lente.
- Todos los rayos se refractan en un único punto central (el **centro óptico**).
- El análisis geométrico se simplifica enormemente.

Así obtenemos la **fórmula de la lente delgada**:

Fórmula de Gauss

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

donde:

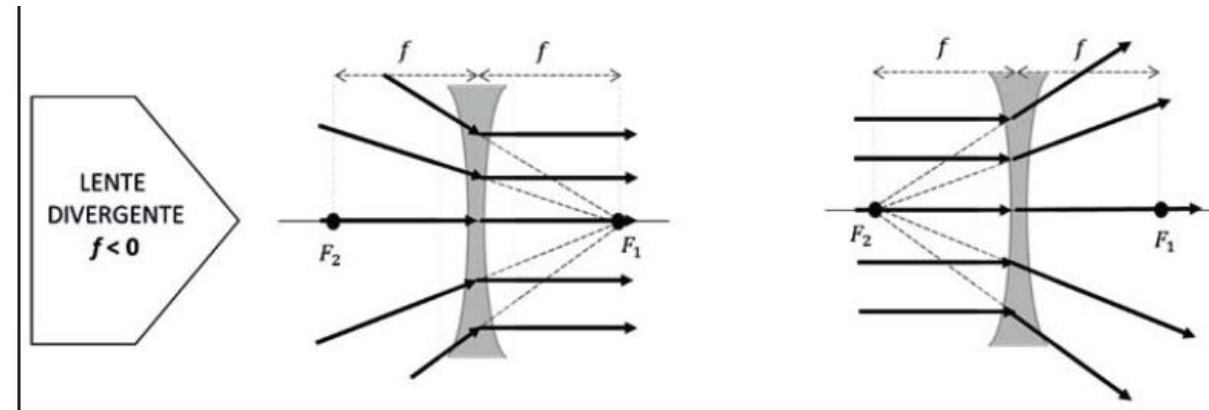
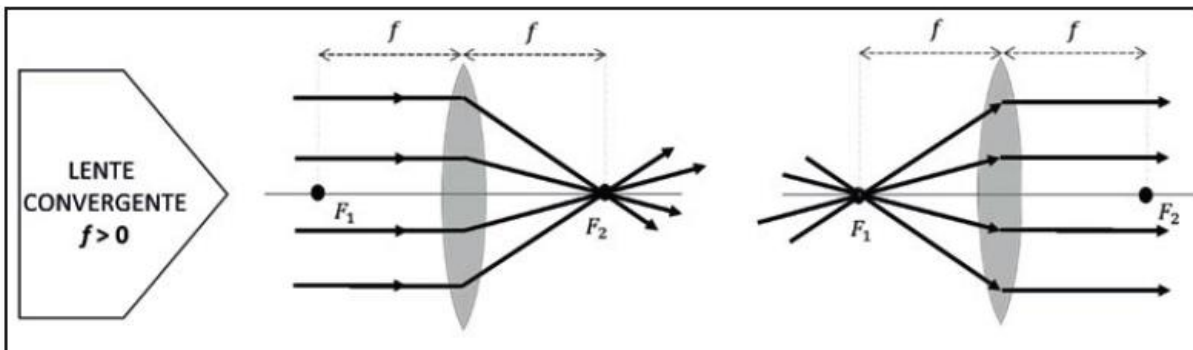
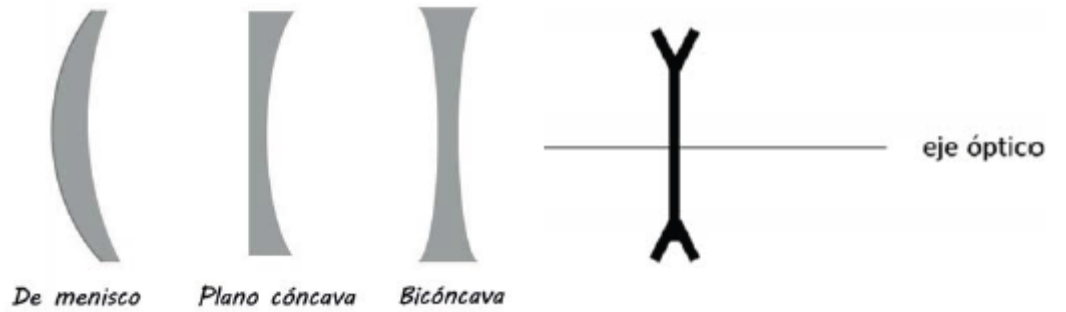
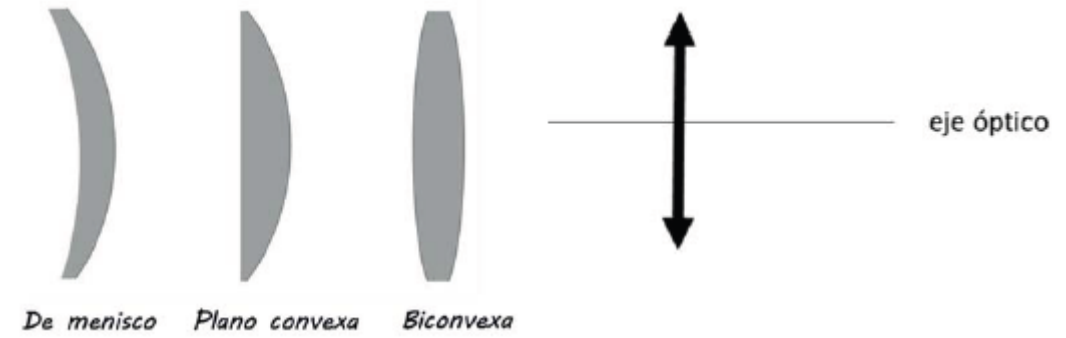
- f : distancia focal de la lente,
- s : distancia del objeto al centro óptico,
- s' : distancia de la imagen al centro óptico.

Toda lente delgada rodeada de aire tiene dos focos, uno a cada lado de ella y equidistante del centro (cualquiera sea el tipo de lente delgada).

El **foco objeto** F_1 es un punto axial sobre el eje óptico tal que cualquier rayo procedente de él o que se dirija hacia él se propaga paralelamente al eje una vez refractado (una vez que pasó a través del sistema óptico).

El **foco imagen** F_2 es un punto axial tal que cualquier rayo paralelo al eje, después de la refracción, se dirige a él o diverge de él.

La distancia entre cada uno de los focos y el centro de la lente se denomina **distancia focal** (f) que se mide en unidades de longitud: m, cm, etc., y además son en valor absoluto iguales $|f_1| = |f_2|$.



POTENCIA ÓPTICA

La **potencia de una lente** indica **cuánto desvía los rayos de luz** que pasan por ella, es decir, **cuán fuerte es su capacidad para hacerlos converger o divergir**.

- Una **lente más potente** concentra o separa los rayos en una distancia más corta.
- Una **lente menos potente** apenas los desvía.

$$P = \frac{1}{f}$$

donde:

- P es la **potencia de la lente**,
- f es la **distancia focal** (en metros).

La unidad de potencia óptica es la **dioptría (D)**:

$$1 \text{ D} = 1 \text{ m}^{-1}$$

Ejemplos:

- Si $f = +0,5 \text{ m} \rightarrow P = +2 \text{ D}$ (lente convergente).
- Si $f = -0,25 \text{ m} \rightarrow P = -4 \text{ D}$ (lente divergente).

ENTIDADES ÓPTICAS.

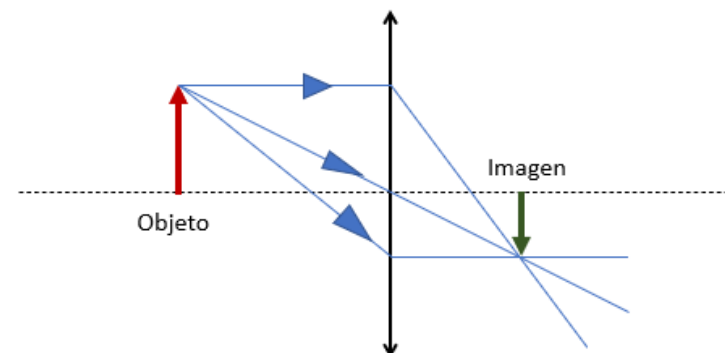
Lo primero que debemos considerar es que en la óptica geométrica la idea de OBJETO e IMAGEN no tienen carácter ontológico, es decir no son características que están presentes en la entidad en cuestión, sino que una entidad será objeto o imagen según la porción del dispositivo óptico que estemos considerando, es decir tiene carácter **operativo**.

Objeto Real: Decimos que un objeto es real cuando emite rayos divergentes que incidan sobre la superficie bajo estudio.

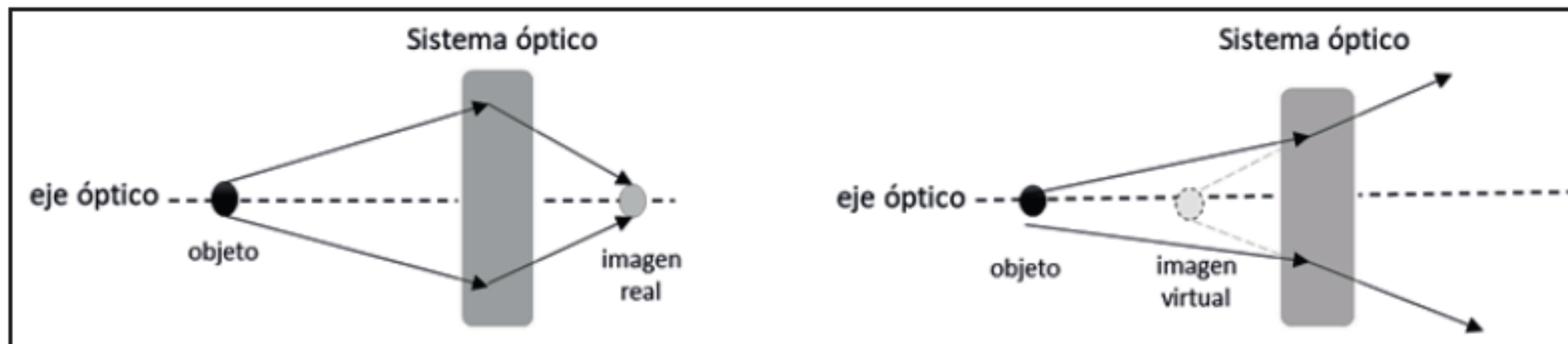
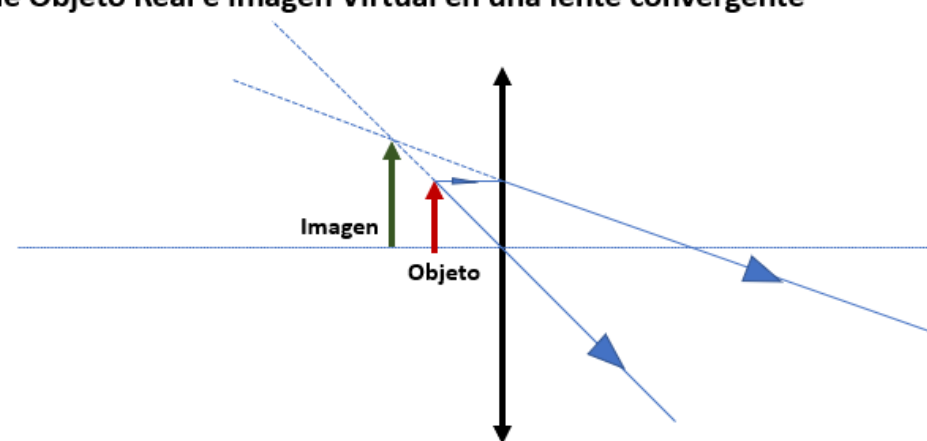
Imagen Real: Cuando a ella lleguen rayos convergentes provenientes de la superficie bajo estudio.

Imagen Virtual: Cuando prolongando los rayos divergentes provenientes de la superficie bajo estudio, estos parezcan venir de dicha imagen.

Ejemplo de Objeto Real e Imagen Real en una lente convergente

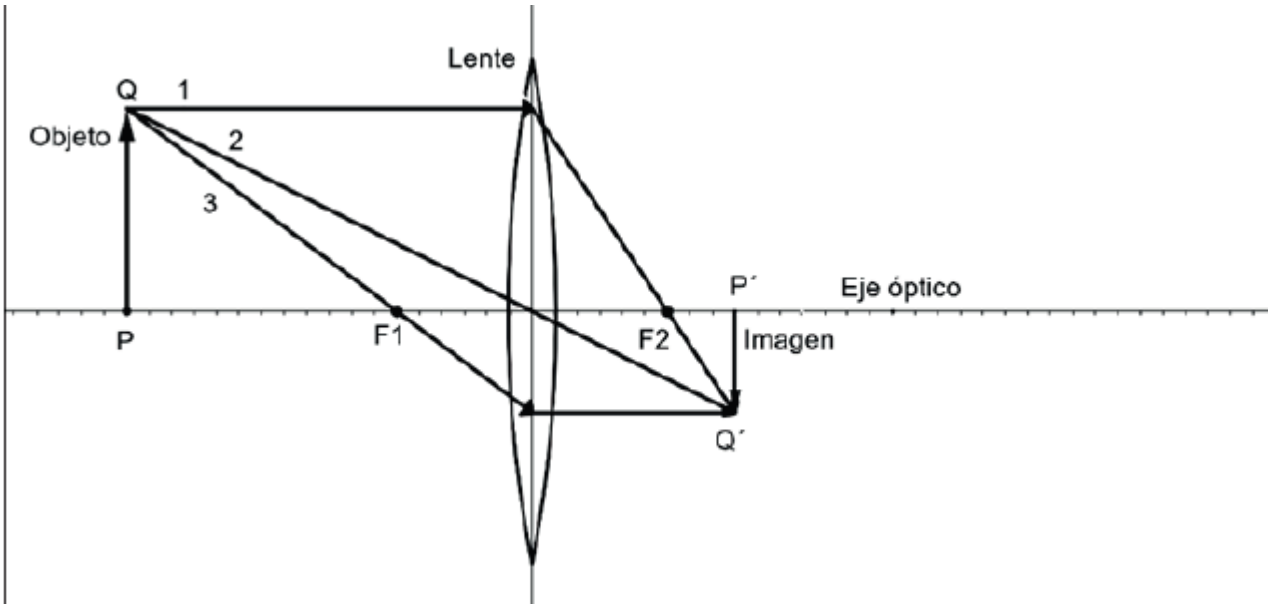


Ejemplo de Objeto Real e Imagen Virtual en una lente convergente



Trazado de rayos principales en lentes

Lentes convergentes

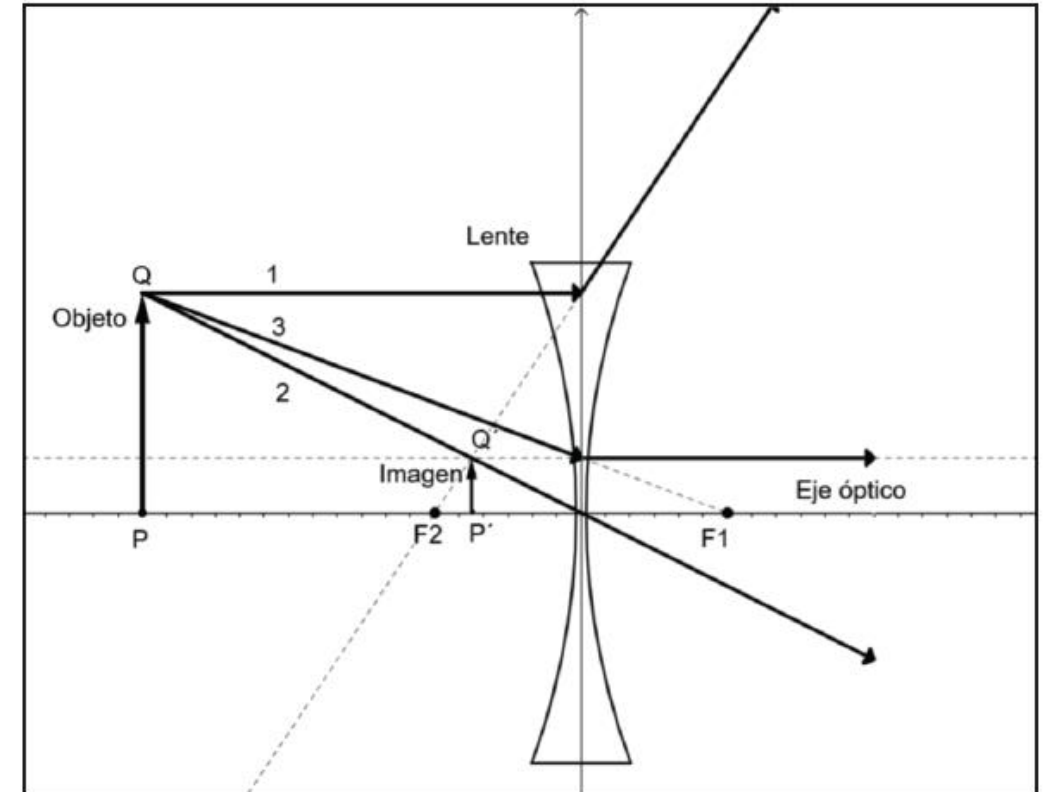


El **rayo 1** sale paralelo al eje óptico y al pasar por la lente, se refracta para pasar por el punto focal F_2 .

El **rayo 2** sale en dirección al centro de la lente y no se desvía (considerablemente).

El **rayo 3** sale con dirección al punto focal F_1 y emerge a través del lente paralelo al eje óptico.

Lentes divergentes



El **rayo 1** sale paralelo al eje óptico y al pasar por la lente, se refracta con dirección proveniente del punto focal F_2 .

El **rayo 2** sale en dirección al centro de la lente y no se desvía (considerablemente).

El **rayo 3** sale con dirección al punto focal F_1 hacia la lente y emerge a través de este paralelo al eje óptico.

ECUACIÓN DEL FABRICANTE DE LENTES

Relaciona el **foco** con la **forma** y el **material** de la lente:

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

donde:

- n = índice de refracción del material,
- R_1, R_2 = radios de curvatura de las superficies (con signo según convención).

AUMENTO LATERAL DE UNALENTE (m)

El **aumento lateral** de una lente o espejo mide **cuánto cambia el tamaño de la imagen** respecto del objeto.

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

donde:

- y es la **altura del objeto**,
- y' es la **altura de la imagen**,
- M es el **aumento lateral** (sin unidades, ya que es una razón entre longitudes).

- Si $|M| > 1$: la imagen es **más grande** que el objeto.
- Si $|M| < 1$: la imagen es **más pequeña**.
- Si $M > 0$: la imagen es **derecha** (no invertida).
- Si $M < 0$: la imagen es **invertida** (está dada vuelta respecto del objeto).

A partir de la **ecuación de lentes delgadas**, puede demostrarse que:

$$M = -\frac{s'}{s}$$

donde:

- s es la **distancia del objeto** a la lente (medida desde el centro óptico),
- s' es la **distancia de la imagen** (también medida desde el centro óptico),
- el **signo menos** indica la inversión de la imagen cuando M es negativo.

FORMACIÓN DE IMÁGENES EN LENTES DELGADAS

Tipo de lente	Posición del objeto	Tipo de imagen	Orientación	Tamaño relativo	Observaciones
Convergente	Objeto más allá de $2F$	Real	Invertida	Disminuida	Imagen entre F y $2F$
Convergente	Objeto en $2F$	Real	Invertida	Igual tamaño	Imagen también en $2F$
Convergente	Objeto entre F y $2F$	Real	Invertida	Aumentada	Imagen más allá de $2F$
Convergente	Objeto en F	—	—	—	Los rayos salen paralelos → imagen en el infinito
Convergente	Objeto entre F y la lente	Virtual	Derecha	Aumentada	Imagen al mismo lado del objeto
Divergente	En cualquier posición	Virtual	Derecha	Disminuida	Imagen entre la lente y su foco del mismo lado del objeto

BIBLIOGRAFÍA

- Apunte teórico-práctico del CBC, UNIDAD 5: Bases Físicas de la Visión y la Audición
- Física Universitaria_Vol 1 (12° edición): Sears - Zemansky
- Chat GPT