

# Óptica (I) Naturaleza de la luz

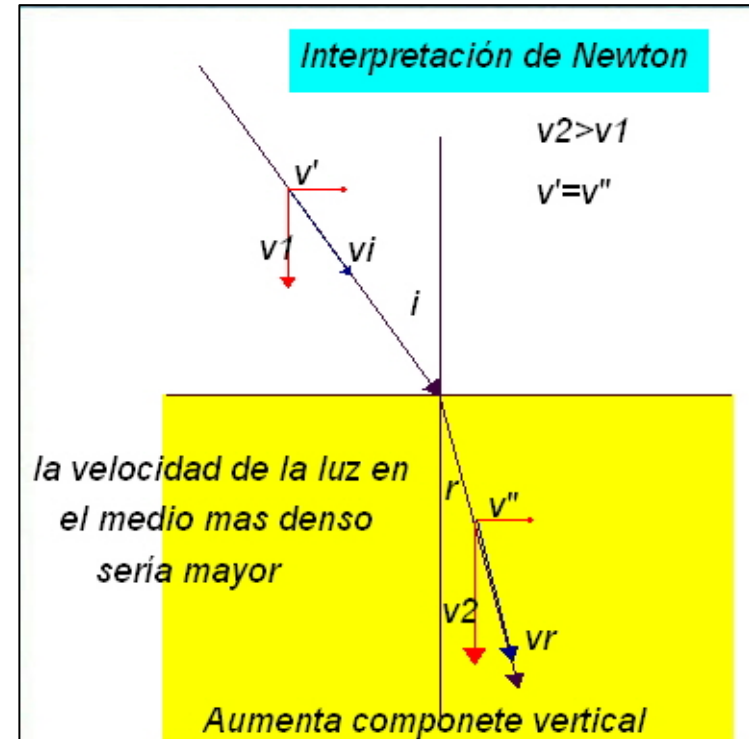
- A lo largo de los siglos, las teorías sobre la naturaleza de la luz han servido, de foro de debate a todos los científicos del planeta; y en más de una ocasión ha servido para tirarse los trastos a la cabeza.
- Comenzaremos por los griegos, a quienes la civilización actual nunca estará suficientemente agradecida.
- La óptica, surge cuando el hombre trata de explicar el fenómeno de la visión.
- Año 450 A.C. La escuela atomística, según escritos atribuidos a Leucino, sostiene que los objetos emiten “imágenes” “eidola” (εἰδολα). Especies de sombras o simulacros materiales que revestían a los cuerpos, y que desprendiéndose de ellos venían a través de los ojos a nuestra alma, con sus formas, colores y demás atributos
- Año 430-365 A.C. Para la escuela Pitagórica, según escritos de Apuleyo, eran los ojos que enviaban unos tentáculos que palpaban los objetos, análogamente al sentido del tacto, ponían de manifiesto su forma color y los restantes atributos.
- Año 300 A.C. Euclides da una formulación geométrica a la óptica basándose en las ideas Pitagóricas, introduce el concepto de rayo en los catorce postulados de la Óptica, suponiendo que es el ojo el que lo emite, y formula, además, los famosos siete postulados de la “Catóptrica” donde establece la ley de la reflexión.

## Óptica (II). la naturaleza de la luz (II)

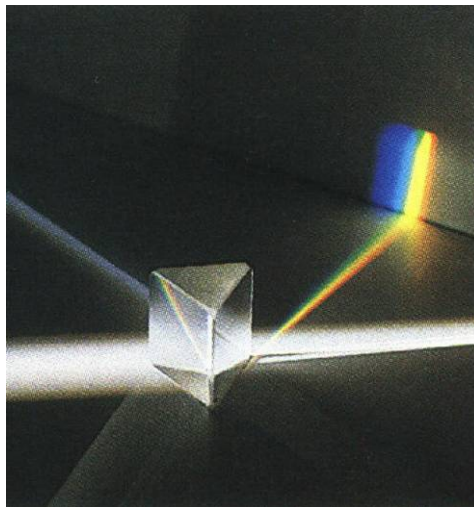
- Año (965-1039) Han tenido que transcurrir trece siglos Alhazem de Basora, basándose en la anatomía del ojo de Galeno (130-201D.C.) indica que la luz procede de los objetos, o mejor, que va del Sol a los objetos, y de estos a los ojos, comportándose como un proyectil, y basándose en las leyes del choque elástico. Obtiene de nuevo la ley de la reflexión y la aplica al estudio de la formación de imágenes en espejos.
- A finales del siglo XVI, principios del XVII, comienza una gran actividad en el campo de la Óptica, se generaliza el uso de lentes y espejos, a lo que contribuyó en gran medida el napolitano Juan Bautista Laporta (1535-1615). En este periodo se generaliza el uso de instrumentos ópticos, coincidiendo con los logros de Keppler (1571-1630) y Galileo(1565-1642).
- Año 1621 el holandés Snelius, descubre experimentalmente la ley de la refracción. El descubrimiento permanece ignorado hasta que en 1638, Descartes, publica su “Óptica” en la que aparecen las leyes de refracción y reflexión, sobre la base de que la luz se comporta como un proyectil, pero no se pronuncia sobre su naturaleza.
- (1642-1726) Sir Isaac Newton emprende el estudio de la naturaleza de la luz. Para él, la luz está constituida por partículas materiales ( **corpúsculos**) que son lanzadas a gran velocidad por los cuerpos emisores.
- Newton, interpretó los colores en los que se descomponía la luz blanca al atravesar un prisma, (espectro de la luz blanca) como partículas de diferente masa para cada color.
- Explicó la propagación rectilínea y la formación de sombras y penumbras
- Interpretó, erróneamente, la ley de la refracción, argumentando que las partículas constitutivas de la luz eran atraídas hacia la superficie de separación, con lo que aumentaba su componente tangencial, y la horizontal no se alteraba. Esto dio lugar a la idea de que la velocidad de la luz en el medio mas denso era mayor

# colores Interpretación de Newton dispersión de la luz por un prisma

- La Ley de la refracción, según la interpretó Newton, era correcta en cuanto a los ángulos de incidencia y refracción, pero incorrecta, por que suponía aumento en la velocidad de la luz en el medio mas denso, Se conocía la velocidad de la luz en su tiempo; fue medida por Roemer(1642), a partir del experimento de ocultación de los satélites de Júpiter.
- Posteriormente, Fizeau primero(1849), y Foucalt después (1850), en el laboratorio comprueban, con diferentes experiencias, ( la mira de Fizeau y el espejo de Foucalt) que la velocidad **es mas lenta en el medio mas denso**



Los diferentes colores son debidos a la A la diferente masa de las partículas que forman la luz blanca



Matías Vázquez



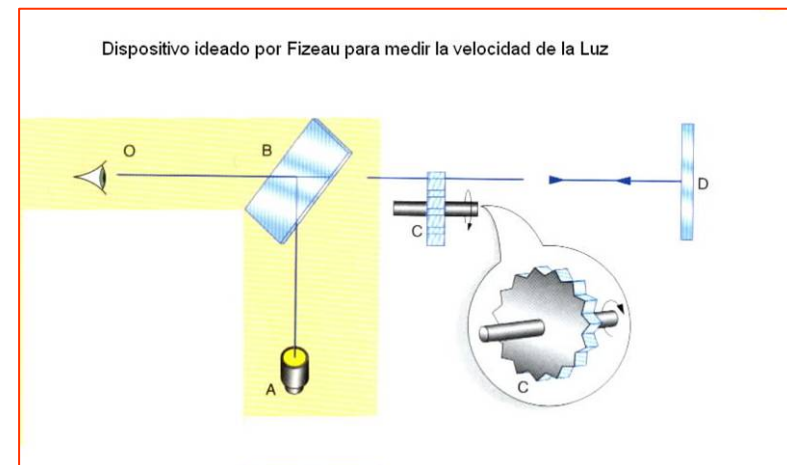
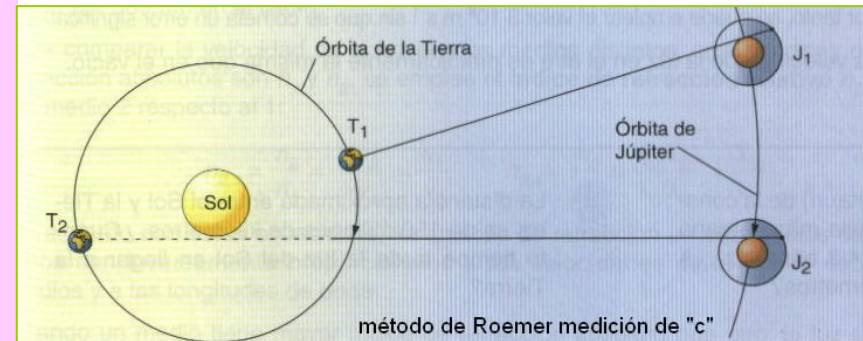
Óptica

## La teoría ondulatoria de Huygens a Maxwell

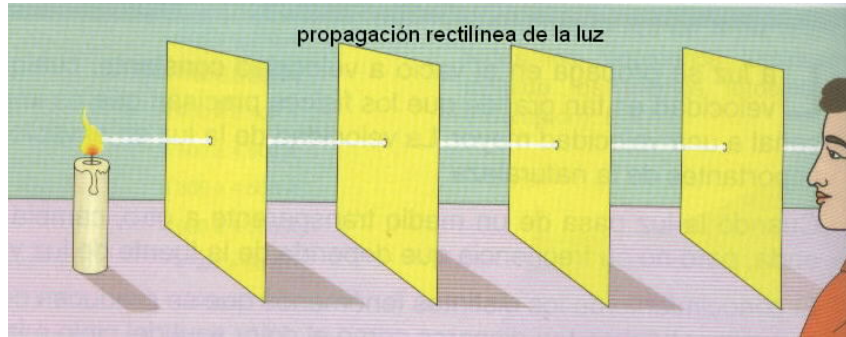
- El modelo corpuscular de Newton se consolidó sobre la base del principio de Fermat, que se basa en un principio de mínimos; “**si la luz va de un punto a otro el camino óptico que recorre es el mínimo**”. Este hecho, nos sugiere una **propagación rectilínea**. El modelo se impuso durante un siglo pese a sus contradicciones .
- Huygens, fue contemporáneo de Newton y propuso modelo **ondulatorio** para la luz, similar al modelo de estudio para el sonido. La transmisión se verifica por vibración de las partículas del medio, por lo que será necesario un medio para la transmisión de la luz , y, se inventa el **éter, fluido impalpable** que todo lo llena y que sirve de soporte a la transmisión de la luz, incluso en el vacío mas absoluto.
- La explicación de los colores en que se descompone la luz blanca al atravesar un prisma, es debida a las diferentes longitudes de onda de los componentes del haz de luz
- La autoridad científica de Newton era inapelable, por lo que la nueva teoría no progresó en su época .
- Hubo de esperar hasta el primer cuarto del siglo XIX para que Thomas Young (1773-1829) explicó sobre la base del modelo ondulatorio de Huygens su experimento de la doble rendija (interferencias). El francés Fresnel (1788-1827), basándose en el mismo modelo, explicó **la difracción** de la luz, descubierta siglo y medio antes por Grimaldi, y los fenómenos de propagación y **polarización** en medios anisótropos.
- El que dio el espaldarazo definitivo a la teoría ondulatoria fue James Clark Maxwell, que enuncia que la luz tiene diferente naturaleza que el sonido, es un tipo de onda especial, **es una onda electromagnética no mecánica** y por esto no necesita soporte para transmitirse . Los experimentos de Hertz cotejan la teoría de Maxwell

# Medición de la velocidad de la luz

- El primero de los experimentos para medir la velocidad de la luz se debe a Galileo, pero fue Roemer el que obtuvo el primer resultado satisfactorio. Tengamos en cuenta, que hasta entonces se suponía la transmisión **instantánea** de la luz
- Observó; que el tiempo que transcurre entre dos eclipses consecutivos de uno de los satélites de Júpiter, dependía de la posición relativa de la Tierra y Júpiter. El diámetro de la órbita de la Tierra es aproximadamente de  $3 \cdot 10^8$  Km.y el retraso que midió en la posición  $r_2$  es de 1000 segundos con lo que  $c=3 \cdot 10^8$  Km/ $10^3$ sg= $300.000$ km/sg.(Fig superior)
- Otro experimento, basado este, en el paso de la luz a través de los dientes de una rueda girando a gran velocidad como se indica en la figura, se debe a Fizeau. En este, la velocidad de rotación e la rueda permite determinar el tiempo transcurrido toda vez que se conozca la distancia recorrida de ida y vuelta del rayo de luz

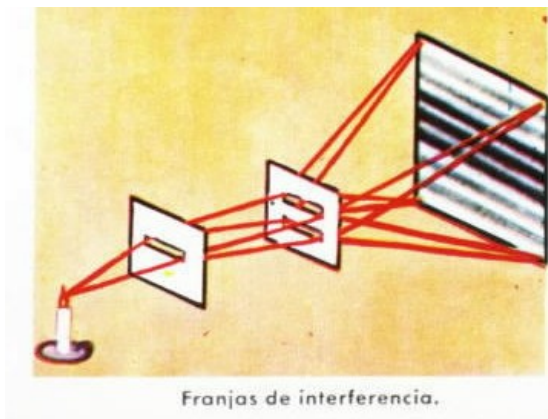


# Naturaleza de la luz experimentos



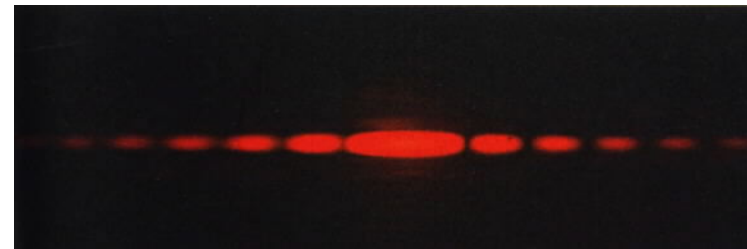
- Corpuscular propagación rectilínea

- Doble rendija de Young naturaleza ondulatoria

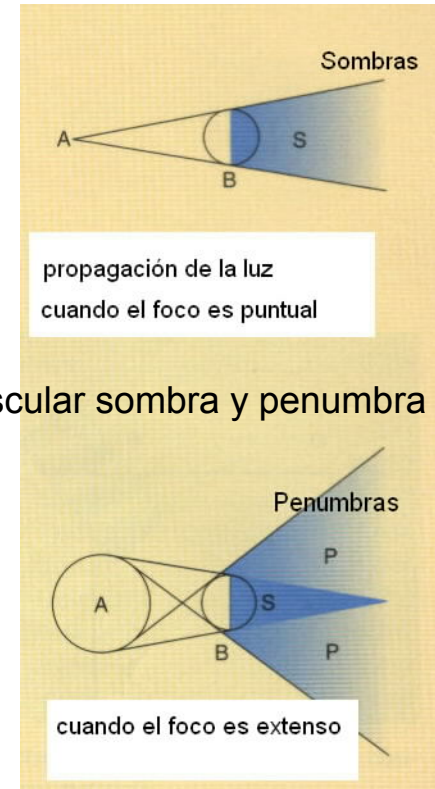


Matías Vázquez

- Onda. Difracción por una rendija larga y estrecha de un haz laser



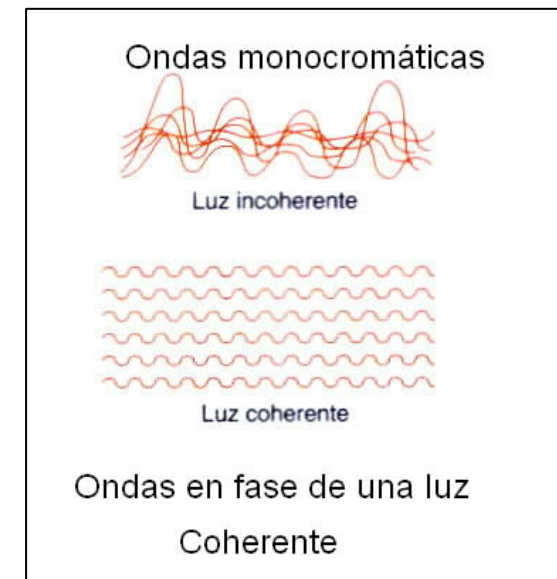
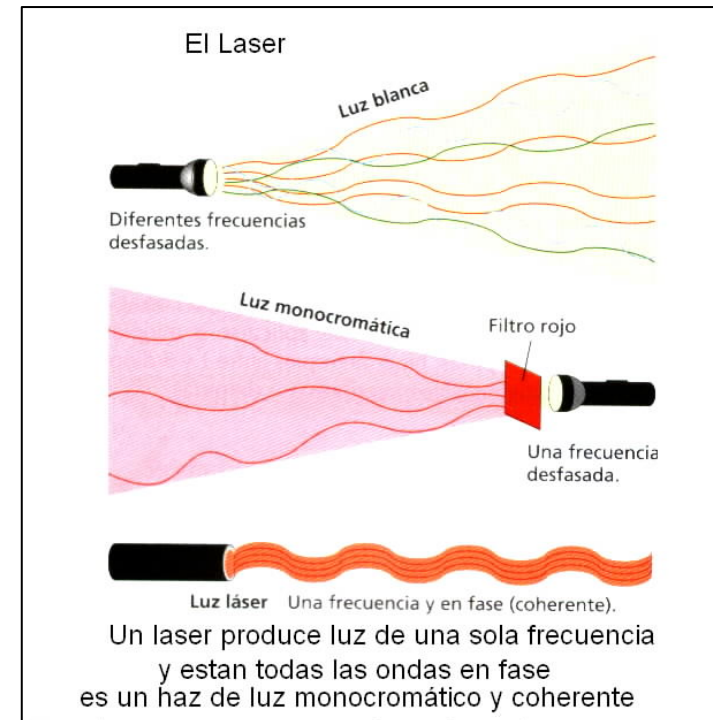
Óptica



- Corpuscular sombra y penumbra

# Un tipo de luz especial el Láser

- La luz blanca, está constituida por varias longitudes de onda, (varias frecuencias), que se propagan de forma caótica.
- El láser; es un tipo de luz de una sola longitud de onda (una sola frecuencia) (monocromática) y que todas las ondas que constituyen este tipo de luz están en fase (coherencia).
- Se trata de una luz **monocromática y coherente**



## Naturaleza de la luz una onda y un corpúsculo

- La controversia parecía haberse zanjado con Maxwell, pero en los albores del siglo XX, una serie de experimentos hicieron retomar a los físicos viejas desavenencias.
- La radiación del cuerpo negro
- La explicación del efecto fotoeléctrico
- La explicación de los espectros atómicos.
- Estos fenómenos, y algún otro como el efecto Compton, que estudiaremos en capítulos posteriores ,ponen de manifiesto la insuficiencia de la teoría ondulatoria.
- En 1900, Planck, con su teoría de los “cuanta”, presupone que la energía no se emite de forma continua sino discreta ( cuantos o paquetes de energía” $h\nu$ ”, donde  $h$  es la constante de Planck), y explica la radiación del cuerpo negro.
- Para abundar en la nueva polémica, Einstein, se basa en los cuantos de luz, que llamó fotones, para explicar el efecto fotoeléctrico, por lo que obtiene el Nobel en 1905, Bhor en 1912, explica, basándose en lo mismo, el espectro de emisión del átomo de hidrógeno, y el experimento de A.H. Compton, parece confirmar, que el fotón es un corpúsculo, por que al colisionarlo contra un electrón, obedece a las leyes del choque elástico.
- Aparece un estado de incomodidad al encontrarnos que la luz, se comporta como *onda* en los fenómenos macroscópicos de propagación, interferencias y polarización, y como *corpúsculo* en los microfísicos, de emisión, absorción e interacción con los átomos.
- La resolución de la polémica. se debe a Louis De Broglie, admitiendo que el movimiento de todo corpúsculo viene regido por una onda asociada de longitud  $\lambda=h/mv$ . La confirmación experimental de esta hipótesis, dio lugar al origen de la mecánica cuántica, la mas potente herramienta de la física contemporánea

# Óptica paraxial

- ▶ **Dioptrio esférico**, es el conjunto formado por dos medios transparentes, isótropos y homogéneos, con diferente índice de refracción, separados por una superficie esférica.
- ▶ En este apartado, nos referiremos, exclusivamente al estudio de la óptica geométrica, en unas condiciones muy específicas. Trabajaremos en la ***zona paraxial o de Gauss***; en donde los objetos, están lo suficientemente alejados de la superficie del dioptrio, que los senos y tangentes pueden ser sustituidos por los ángulos en radianes. (ángulos  $< 6^\circ$ )
- ▶ El criterio de signos, obedece a las normas DIN (Deutschen Industrie Normen).
- ▶ Si no se dice lo contrario, se considera que la luz viaja de izda., a dcha.
- ▶ Los puntos, los representaremos con Mayúsculas, las distancias con minúsculas.
- ▶ El punto de corte del dioptrio con el eje, se denomina vértice del dioptrio. Se considera, como el origen de coordenadas las distancias, a partir de ahí, hacia la izda, serán negativas y hacia la dcha, serán positivas.
- ▶ Los ángulos con el eje óptico serán positivos, si al llevar el rayo hacia el eje, por el camino mas corto, vamos en sentido contrario a las agujas del reloj. Negativos si lo hacemos en sentido contrario.
- ▶ Los ángulos de incidencia, reflexión y refracción, son positivos si al llevar el rayo hacia la normal, por el camino angular mas corto, lo hacemos en sentido de las agujas del reloj.
- ▶ Centro de curvatura del dioptrio esférico: es el centro de la superficie esférica a la que pertenece el dioptrio.
- ▶ Radio de curvatura; es el radio de la superficie esférica a la que pertenece el dioptrio
- ▶ Polo, Vértice o Centro óptico; es el punto de corte del casquete esférico con el eje óptico
- ▶ Eje principal o eje óptico; es la recta que pasa por el centro óptico y el centro de curvatura.
- ▶ Eje secundario: Cualquier normal a la superficie esférica que pasa por el centro de curvatura

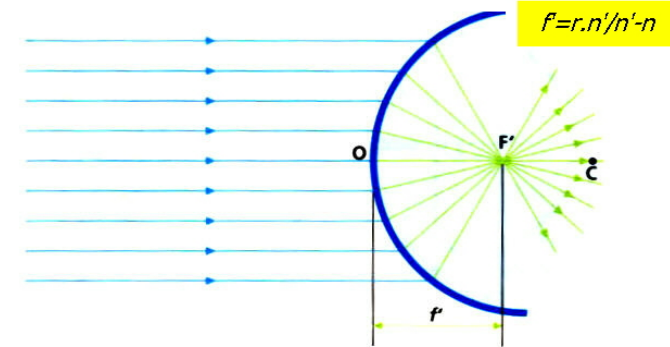


# Focales objeto e imagen, de un dioptrio esférico

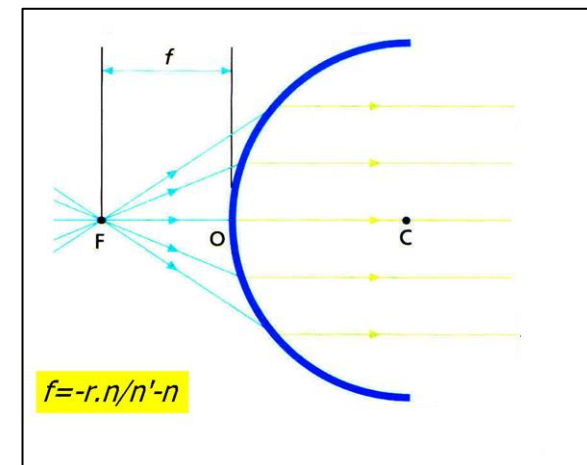
- El foco; es la imagen de un punto del infinito.
- Los rayos que provienen del infinito, los representamos paralelos al eje óptico.
- Para el cálculo de la distancia focal imagen, (dicho de otra forma la distancia del centro óptico al foco o punto de confluencia de los rayos provenientes del infinito) no tendremos mas que calcular  $s'$ , que coincidirá con  $f'$ , en el invariante de ABBE:  $n'/s' - n/s = (n' - n)/R$ ; que en este caso  $s = \infty$ ; con lo que  $s' = f'$ ; y la ecuación quedará:  $n'/f' = (n' - n)/R$ ;  $f' = n'R/(n' - n)$
- De la misma forma para la focal objeto,  $f$  podré poner  $s' = \infty$  por lo tanto  $-n/f = (n' - n)/R$ . y en definitiva:  $f = -nR/(n' - n)$ .
- La relación de focales es :

$$\frac{f}{f'} = -\frac{\frac{nr}{n'-n}}{\frac{n'r}{n'-n}} = -\frac{n}{n'}$$

Focal imagen



Focal objeto



# Aumento lateral

- El aumento lateral; es la relación entre los tamaños verticales del objeto y su imagen, a través del dioptrio

Definimos el aumento lateral  $A_L = \frac{y'}{y}$

Teniendo en cuenta que estamos en zona paraxial :

$$i \cong \text{sen } i \cong \text{tgi} = \frac{y}{s}; \quad r \cong \text{sen } r \cong \text{tgr} = \frac{y'}{s'}$$

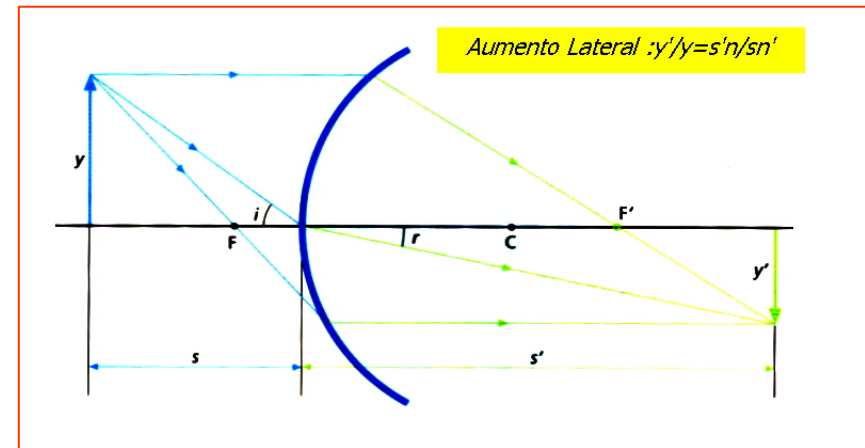
Por otro lado la ley de Snell :  $n \text{sen } i = n' \text{sen } r \cong ni = n' r$ ,  
que al sustituir nos quedará :

$$\frac{ny}{s} = \frac{n'y'}{s'}$$

A esta expresión, se la conoce por

EL INVARIANTE DE HELMOLTZ :

$$Y \text{ para el aumento lateral : } A_L = \frac{y'}{y} = \frac{ns'}{n's}$$



## Fórmula general del dioptrio esférico (Fórmula de Gauss)

- Podremos obtener una fórmula, que relaciona focales con distancias, a partir de la fórmula general del dioptrio esférico:

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{r}$$

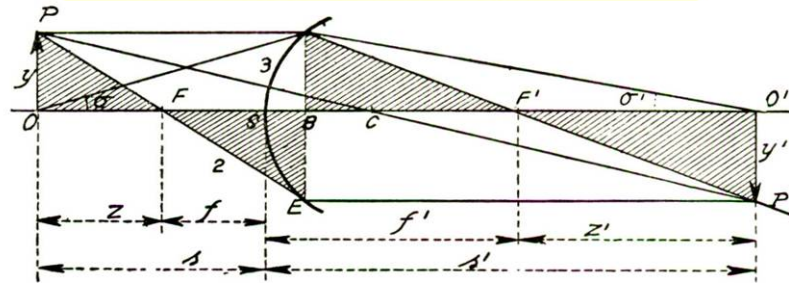
Si multiplico por  $\frac{r}{n'-n}$  (inv 2º miembro). Podré poner :

$$\frac{n'r}{n'-n} = \frac{nr}{s} = 1 \quad ; \quad \text{por lo tanto: } \frac{f'}{s'} + \frac{f}{s} = 1$$

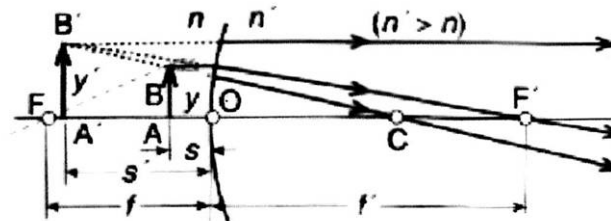
## Elección de los rayos, para la formación de imágenes en el dioptrio

- Los rayos que elegiremos son:
- Un paralelo, que una vez que emerja, pasará por el foco.
- Uno normal a la superficie, que no se desviará (ley de refracción) y pasará por el centro de curvatura.
- Un tercer rayo, que pasando por el foco objeto, emerja paralelo al eje óptico

*Marcha de los rayos en un dioptrio esférico  
Para la construcción de imágenes*

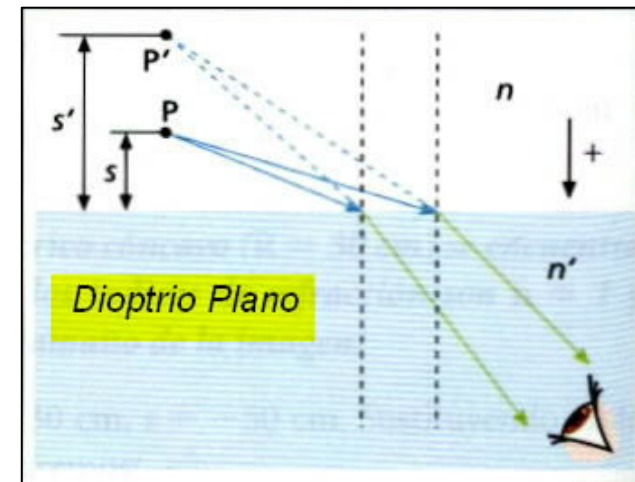
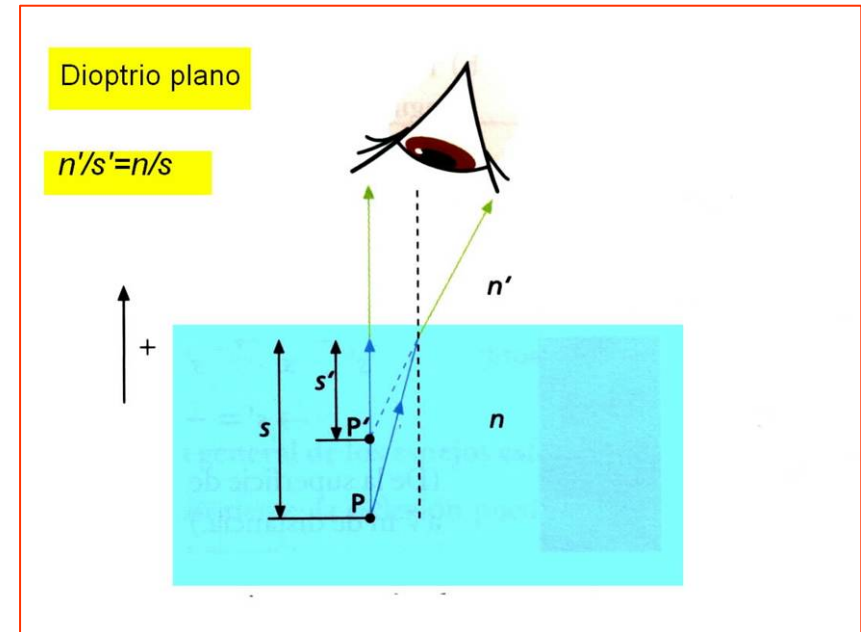


*Marcha de rayos en formación de imágenes*



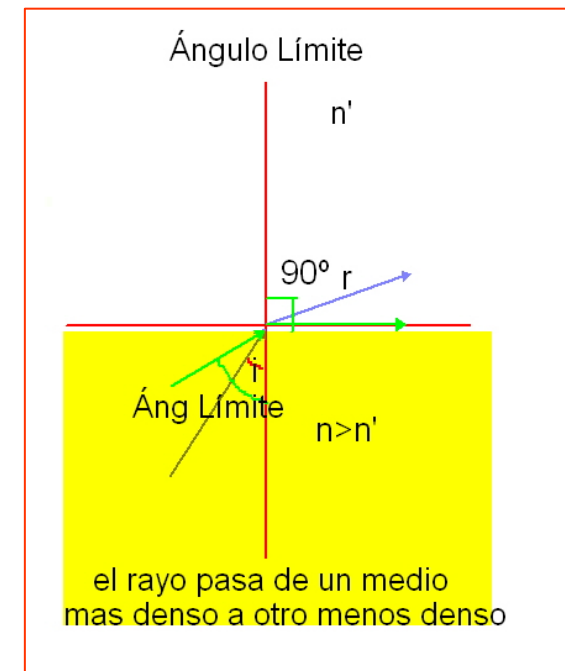
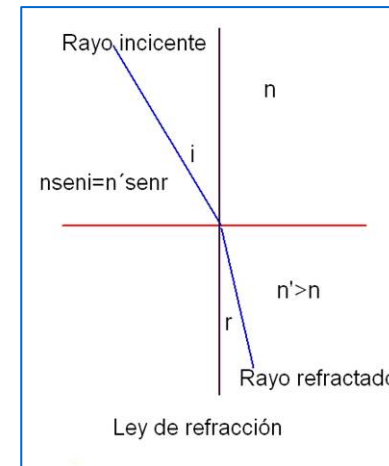
# El dioptrio plano

- En el caso, de que la superficie de separación de los dos medios de distinta refringencia, sea un plano, se podrá aplicar la fórmula general del dioptrio, sin mas que tener en cuenta que  $R=\infty$ , con lo que nos quedará  $=n'/s'-n/s=(n-n')/\infty=0$ .
- Por lo tanto, la ecuación del dioptrio plano se nos reduce a :  $n'/s'=n/s$



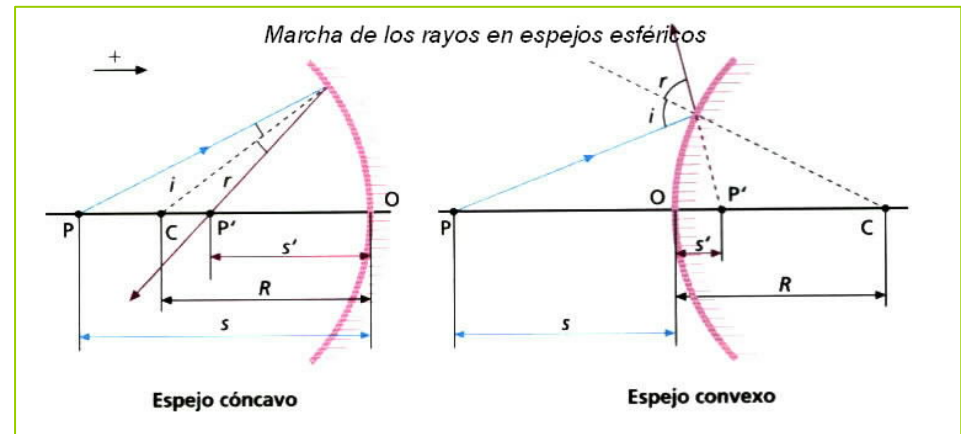
# Ángulo Límite

- En la ley de refracción;  **$n \text{sen} i = n' \text{sen} r$** . Podemos observar que si pasamos de un medio menos denso ( **$n < n'$** ) a otro mas denso ( **$n > n'$** ) el ángulo emergente se aproxima a la normal. Por ejemplo: de aire ( $n=1$ ), a agua ( $n=1,33$ ).
- Lo contrario, es obvio, es decir, si paso de un medio mas denso, a otro menos denso, el rayo refractado, se alejará de la normal.
- Puede ocurrir, en este último caso, que se separe tanto de la normal, que no emerja o sea, que sufra una **reflexión total**.
- Al ángulo de incidencia que corresponde uno de refracción de  $90^\circ$  se le llama **Ángulo Límite**



# Espejos esféricos

- El espejo podrá ser **cóncavo o convexo**, siempre que el radio de curvatura del espejo, sea **negativo o positivo**
- Los rayos que inciden en la dirección de la normal, no se desvían.
- En un espejo convexo, la imagen del punto, se forma detrás del espejo. Al estar formada por la prolongación de los rayos, y no poderse recoger en pantalla, se dice que es *virtual*.
- La fórmula general de los espejos esféricos, se obtiene del invariante de ABBE, (o ecuación general del dioptrio) sin mas que considerar a la **reflexión, un caso particular de la refracción en donde:  $n=-n'$**



$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r} \Rightarrow \frac{n'}{s'} + \frac{n'}{s} = \frac{2n'}{r}$$

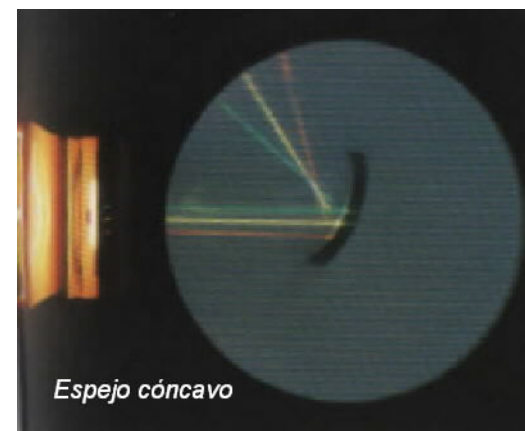
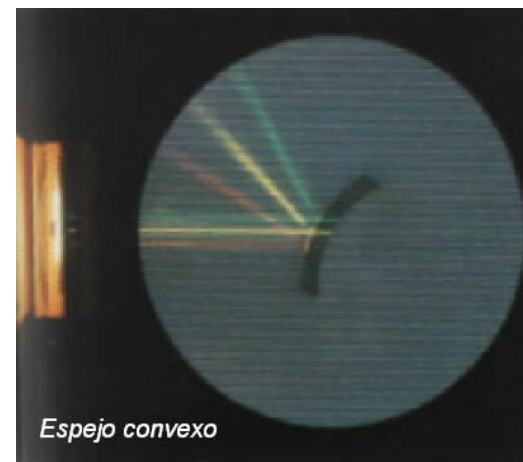
O bien :

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{2}{r}; \text{ Por tanto, para las focales :}$$

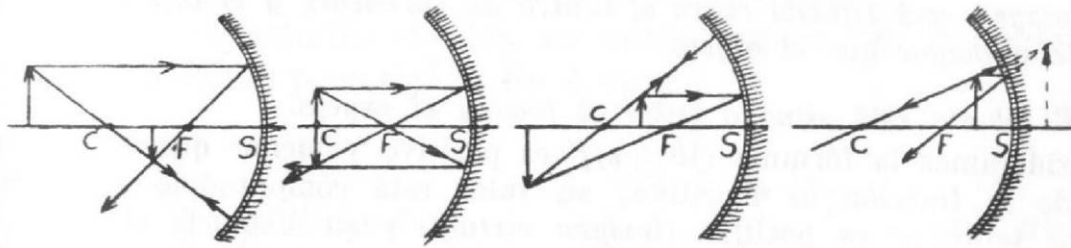
$$s = -\infty \Rightarrow f' = \frac{r}{2}; \text{ y de la misma forma } s' = -\infty \Rightarrow f = \frac{r}{2}$$

## Espejos esféricos (II)

- De la ecuación anterior, tenemos el resultado que indica, que las distancias focales objeto e imagen, coinciden en los espejos esféricos, y son iguales, a la mitad del radio de curvatura del espejo:
- **$f=f'=r/2$**
- Además, se desprende también, que la ecuación general de los espejos esféricos;  $1/s'+1/s=2/r$  se transforma en:
- **$1/s'+1/s=1/f$**  .
- Y el aumento lateral quedará:
- **$A_L=y'/y=s'n/sn'=-s'/s$** .
- El aumento, es opuesto al cociente de las distancias imagen y objeto



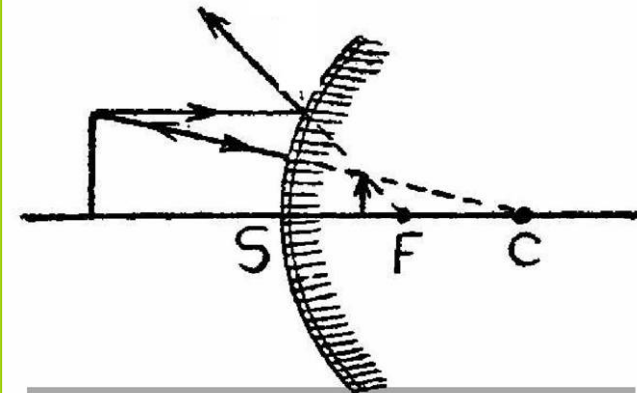
## Formación de imágenes en espejos



*Imágenes de objetos reales en espejos cóncavos*

- Para construir la imagen de un objeto, tomamos dos rayos; un paralelo, y otro que pase por el centro de curvatura, e incida normalmente a la superficie del espejo, que no se desviará

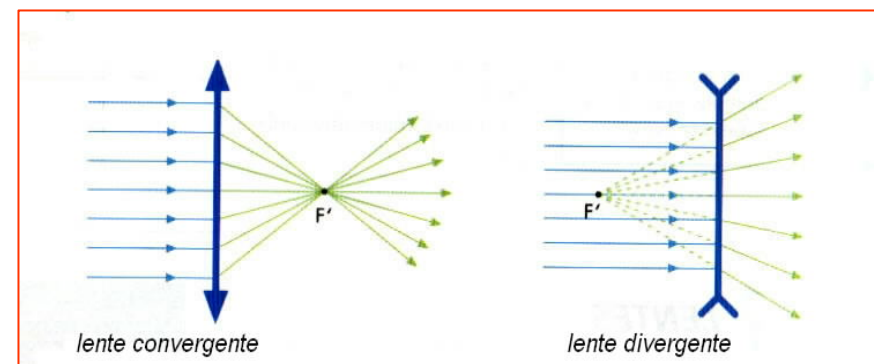
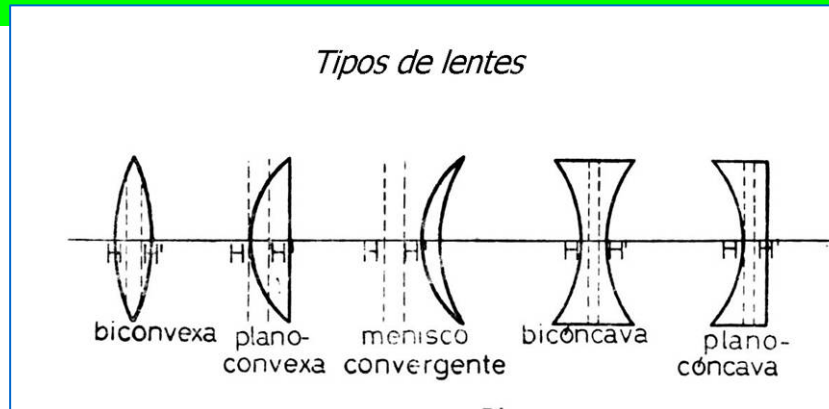
Objeto — entre $C$ y $-\infty$	} Imagen menor que el objeto	} Imagen real e invertida.		
Imagen — entre $C$ y $F$				
Objeto — en $C$	} Imagen igual que el objeto		} Imagen real e invertida.	
Imagen — en $C$				
Objeto — entre $C$ y $F$	} Imagen mayor que el objeto			} Imagen real e invertida.
Imagen — entre $C$ y $-\infty$				
Objeto — entre $F$ y $S$	} Imagen mayor que el objeto	} Imagen virtual y derecha.		
Imagen — entre $S$ y $\infty$ (detrás del espejo)				



Las imágenes en espejos convexos son siempre virtuales y menores

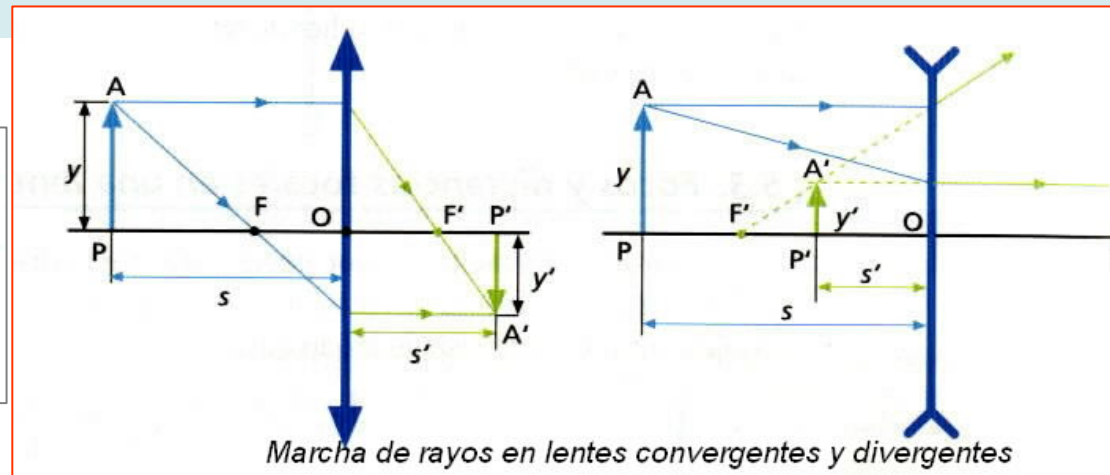
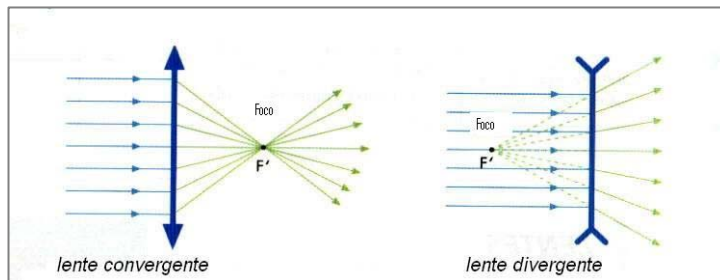
# Lentes

- Las lentes, son sistemas ópticos formado por dos dioptrios (superficies de separación de medios de diferente índice de refracción).
- La imagen a través del primer dioptrio, es objeto para el segundo dioptrio, cuya imagen será el resultado final, a través del sistema óptico.
- Las lentes pueden ser **convergentes** (*mas anchas en el centro*), hacen converger los rayos paralelos al eje óptico, en un punto llamado foco de la lente (se les llama positivas por que la **distancia focal es positiva**). Pueden ser, **divergentes** (*mas estrechas en el centro que en los extremos*), obligan a divergir a los rayos, y los procedentes del infinito, paralelos al eje , no cortan al eje óptico, pero si lo hacen sus prolongaciones en un punto llamado Foco (se les llama negativas por que **su distancia focal es negativa**).
- Además, cada una de ellas pueden ser del tipo que aparece en la figura de la izquierda



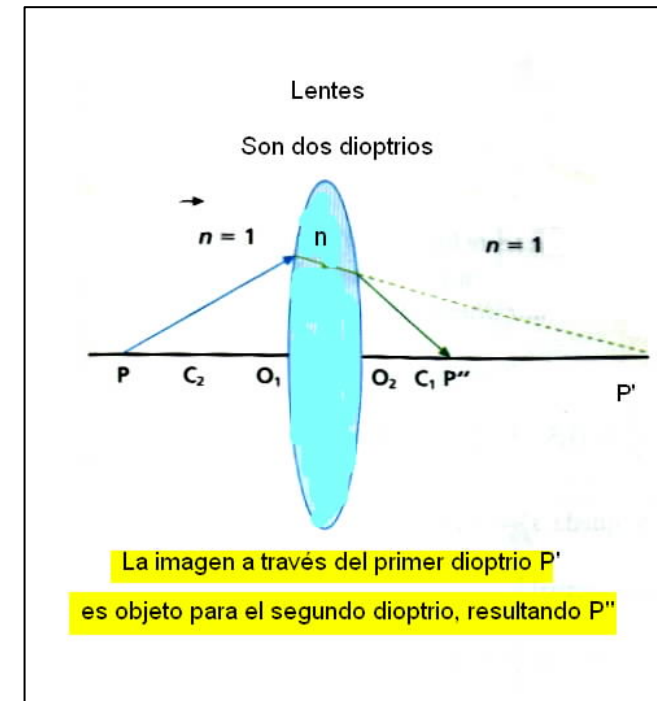
## Lentes (II)

- Los elementos esenciales de una lente son:
- Centros de curvatura: Centros de las dos superficies que forman ambas caras
- Centro óptico: Es el centro geométrico de la lente
- Eje principal: La recta que une los centros de curvatura
- Eje secundario : Cualquier recta que pase por el centro óptico.
- Foco imagen: Un punto del eje principal por donde pasan los rayos que provienen del infinito (paralelos al eje óptico) , si la lente es convergente . Si fuese divergente pasarían sus prolongaciones.
- Foco objeto: un punto del eje principal, cuyos rayos procedentes de él, emergen de la lente paralelos al eje óptico. Si fuese divergente la lente, son sus prolongaciones las que deberían proceder del foco (ver imagen dcha).
- Distancia focal imagen: es la distancia del foco al centro óptico de la lente. Será positiva en lentes convergentes y negativa en divergentes



## Lentes (III): La ecuación general de las lentes delgadas en aire ( $n=1$ )

- La imagen de P, a través del primer dioptrio será P'. Sean  $s_1$  y  $s'_1$  las distancias objeto e imagen a través del primer dioptrio; y  $s_2$  y  $s'_2$  las distancias objeto e imagen, a través del segundo de los dioptrios. Si los radios de ambos son  $r_1$  y  $r_2$ , y su espesor "e". La imagen final será P''.
- Si la lente es "**delgada**", podré suponer su espesor despreciable
- Si está en aire, en el espacio objeto para el primer dioptrio, se cumple que,  $n=1$ ; lo mismo que para el espacio imagen, para el segundo dioptrio.
- Con tales premisas, podré escribir la fórmula general del dioptrio:
- $n/s'_1 - 1/s_1 = (n-1)/r_1$ ;  $n/s'_2 - 1/s_2 = (n-1)/r_2$
- Pero ocurre que:  $s_2 = s'_1 - e$ . Donde  $e \rightarrow 0$  por ser "delgada"  $\Rightarrow s_2 \sim s'_1$
- Con todo ello, la ecuación para el segundo dioptrio se transforma en:  $n/s'_1 - 1/s'_1 = (n-1)/r_2$ ; que restamos de la del primer dioptrio y obtenemos:
- $1/s'_2 - 1/s = (n-1)(1/r_1 - 1/r_2)$ . **Que podremos escribir**

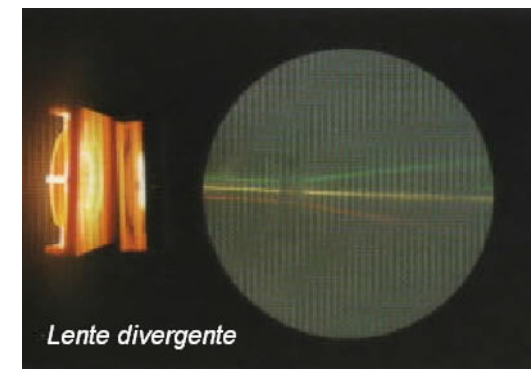
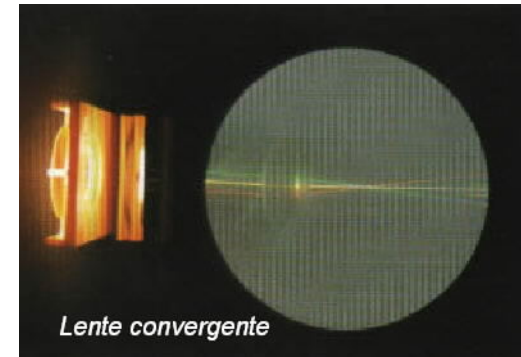


$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

- La ecuación general de las lentes delgadas

## Focales en lentes delgadas, Potencia de una lente

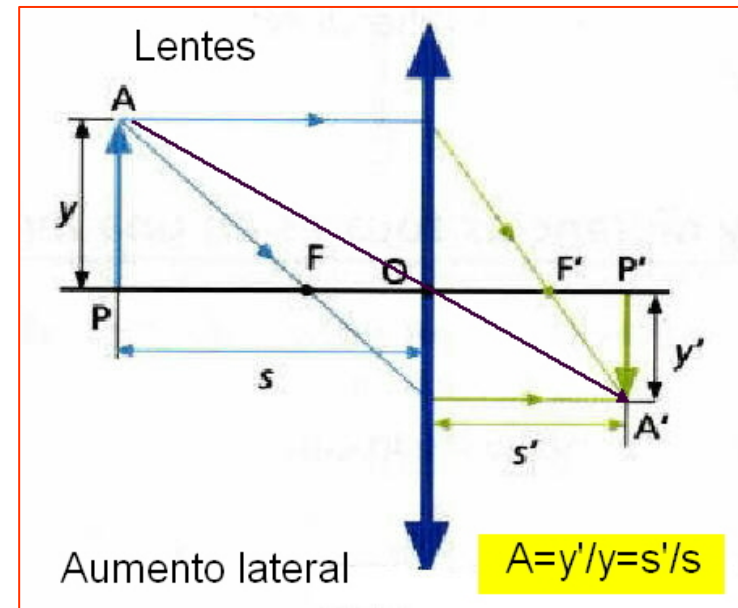
- Si lo que pretendo, es obtener las respectivas distancias focales imagen y objeto; de la fórmula general y procediendo como en el dioptrio esférico, sustituiré  $s$  o  $s'$  por  $\infty$ .
- Veamos: Para la focal imagen haremos  $s = \infty \Rightarrow 1/s' = 1/f' = (n-1) \cdot (1/r_1 - 1/r_2)$ ;
- Para la focal objeto:
- $s' = \infty \Rightarrow 1/s = 1/f = - (n-1) \cdot (1/r_1 - 1/r_2)$ ;
- Es decir, que  $f' = -f$ ; las focales en una lente delgada en aire son iguales y opuestas.
- La ecuación entonces se podrá escribir:
- **$1/s' - 1/s = 1/f'$ .**
- La potencia de una lente es la inversa de su distancia focal imagen ; si  $f'$  se mide en metros (m) la potencia en  $m^{-1}$ ; lo que también conocemos como **dioptrías**:  
 **$P = 1/f'$ .**



# Aumento lateral

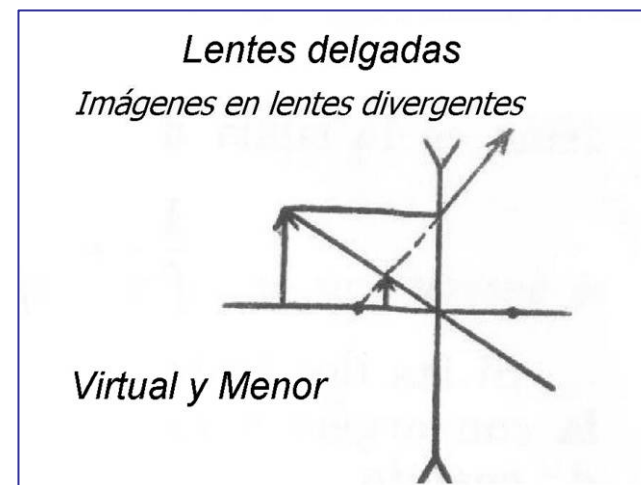
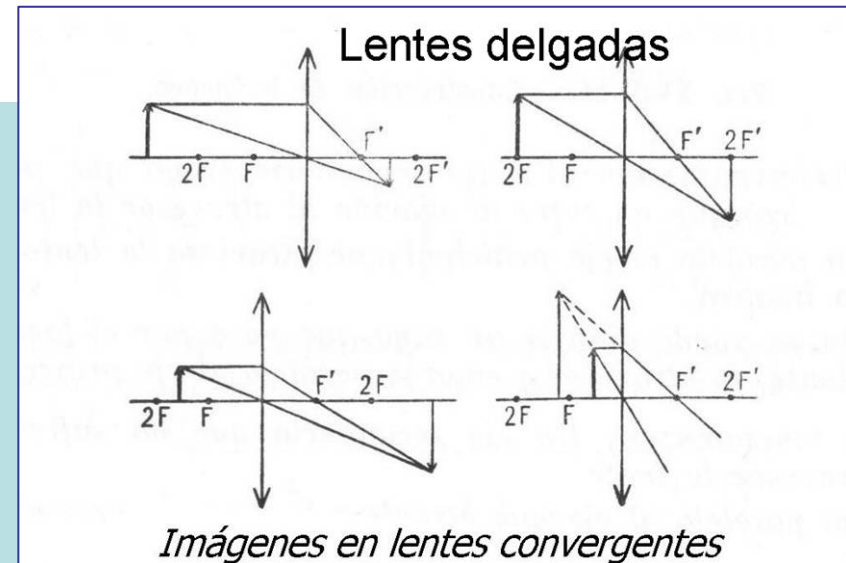
- El aumento lateral, es el cociente entre la altura de la imagen y del objeto
- Si observamos la figura, los triángulos AOP y P'OA' son semejantes pues son rectángulos con un ángulo agudo igual, por lo que tienen sus lados proporcionales, con lo que escribiré:

$$A_L = y'/y = s'/s$$



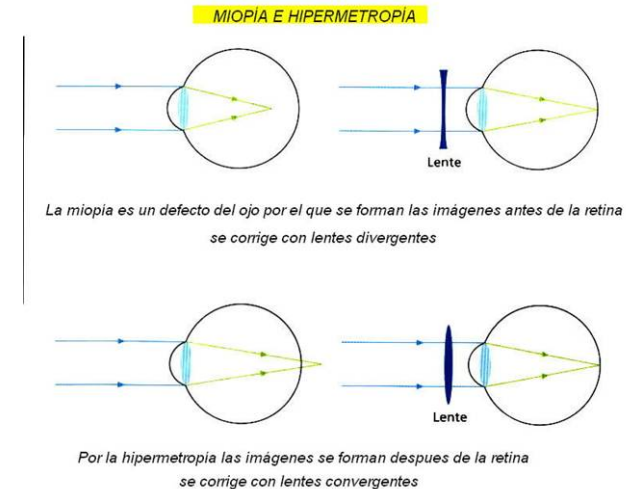
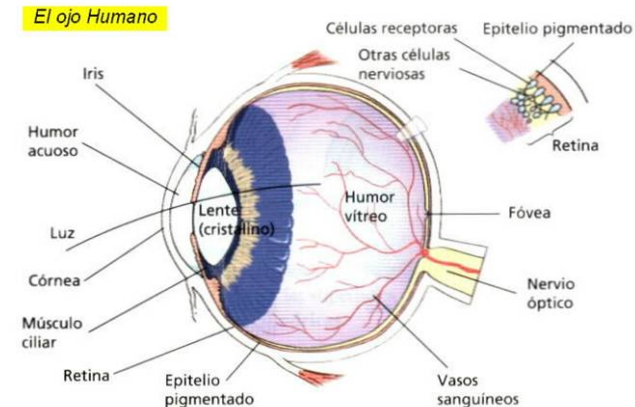
## Construcción de imágenes en lentes delgadas

- Los rayos elegidos son:
- Uno que entra paralelo, y emerge por el foco imagen
- Otro que pasa por el centro óptico, que no se desvía
- Podemos elegir, otro que pasa (él o su prolongación) por el foco objeto y emerge paralelo.
- Conviene observar, la similitud con los espejos esféricos



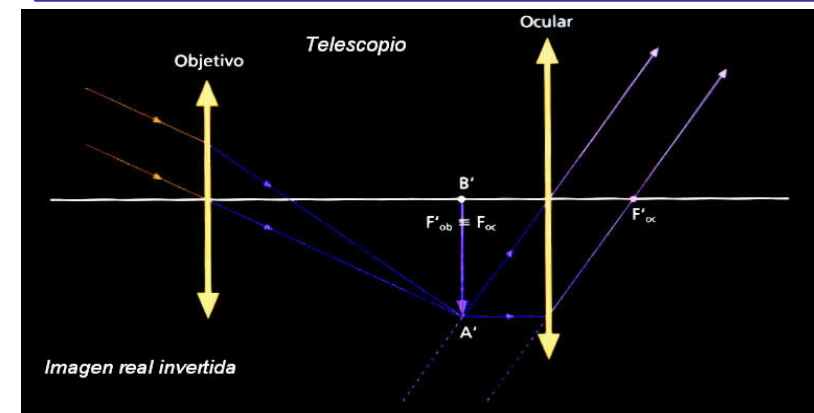
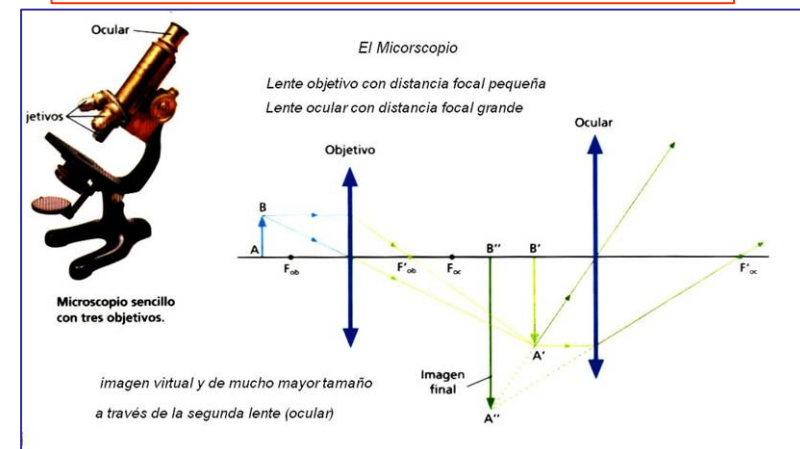
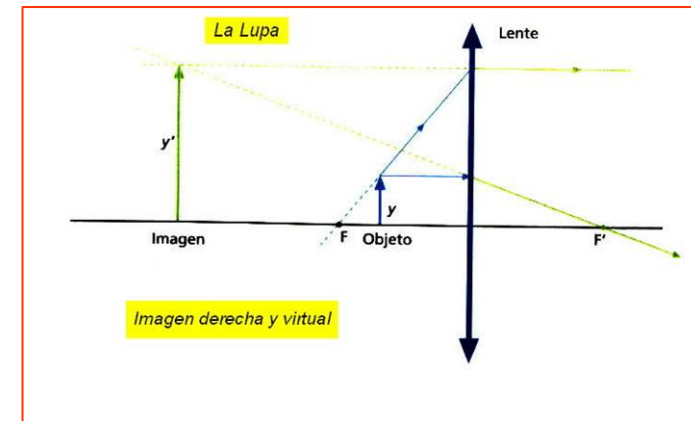
# El ojo Humano, defectos de la visión

- El ojo humano dispone de una lente, que es el cristalino, que se acomoda mediante el músculo ciliar a la visión de objetos, tanto lejanos, como próximos.
- Esta dificultad de acomodación, es lo que provoca dos conocidos defectos de visión, como son la **miopía**, y la **hipermetropía**
- La imagen, una vez que atraviesa el cristalino, en una visión normal, se forma en la retina . Si hay miopía, la imagen se forma antes de la retina, por lo que para corregirla, necesitaremos una lente, que aleje el punto de formación de la imagen, es decir, una lente divergente. La hipermetropía, es el defecto contrario; La imagen se formaría detrás de la retina, por lo que para hacer converger los rayos antes necesitaremos una lente convergente



## Instrumentos ópticos

- La lupa es el primero y mas sencillo de los instrumentos; se trata de una **lente convergente**, y la posición del objeto se encuentra entre el centro óptico y foco, con lo que obtenemos una imagen **virtual derecha y mayor**.
- En el microscopio son dos lentes convergentes la imagen a través de la primera lente (**objetivo**), *real invertida y mayor*, se utiliza como objeto situado entre el foco y el centro óptico de la segunda lente (ocular) que actúa como una lupa, con lo que la imagen resulta, **de nuevo, ampliada, aunque virtual**, como en el caso de la mencionada lupa.
- El telescopio, amplifica imágenes de muy largas distancias, de manera que la focal imagen de de la primera lente, coincide con la focal objeto de la segunda de las lentes, con lo que la imagen al final se forma en el infinito. El propio ojo, facilita la formación de la imagen de los rayos emergentes (paralelos). La imagen observada, es **real invertida y mayor**



# Formulario de óptica

Ley de Snell:  $n \cdot \sin i = n' \cdot \sin r$

Dioptrio esférico	
Ecuación fundamental	$n'/s' - n/s = (n' - n)/r$
Focales imagen y objeto	$f' = r(n'/n - n')$ ; $f = r(n/n' - n)$
Relación entre focales e índices de r	$f/f' = n/n'$
Fórmula de Gauss	$f'/s' + f/s = 1$
Aumento lateral	$A_L = y'/y = s'n/sn'$
Dioptrio plano	
Ecuación fundamental	$n'/s' - n/s = 0$
Espejos esféricos ( $n = -n'$ )	
Ecuación fundamental	$1/s' + 1/s = 2/r$ ;

Distancias focales en espejos esféricos	$f = f' = r/2$ ; de donde: $1/s' + 1/s = 1/f$
Aumento lateral	$A_L = y'/y = -s'/s$
Espejo plano	
Ecuación fundamental	$s' = -s$
Lentes en aire ( $n = 1$ )	
Ecuación fundamental	$1/s' - 1/s = (n-1)(1/r_1 - 1/r_2)$
Focales ( $f = -f'$ )	$1/f' = (n-1)(1/r_1 - 1/r_2) = -1/f$ La ecuación queda: $1/s' - 1/s = 1/f$
Aumento lateral	$A_L = y'/y = s'/s$
Potencia de una lente	$P = f'^{-1}$ en dioptrías ( $m^{-1}$ )