



UNIVERSIDAD  
DE CHILE



Open Green Road

# Física

## Guía de Materia

### PROPAGACIÓN DE LA LUZ

#### MÓDULO COMÚN

#### I MEDIO



*Puntajenacional*

[www.puntajenacional.cl](http://www.puntajenacional.cl)



NICOLÁS MELGAREJO, VERÓNICA SALDAÑA

*Licenciados en Ciencias Exactas, U. de Chile*

*Estudiantes de Licenciatura en Educación, U. de Chile*

## 1. Naturaleza de la luz

A través de la historia son muchos los científicos que han intentado dar explicación al fenómeno cotidiano de la luz. Platón dijo que nuestros ojos emitían partículas que al llegar a los objetos los hacían visibles. Por otro lado, Aristóteles describió a la luz como un flujo inmaterial que se propaga entre el ojo y el objeto. Pero estas teorías no llegaron a explicar algunos fenómenos simples como la *reflexión* y *refracción*.

Antes del siglo XIX Newton consideró la luz como una corriente de *partículas* emitidas por la fuente de luz, las que a su vez estimulaban el ojo, esto último se conoce como la *Teoría corpuscular* con la que se pudo dar respuesta a la *reflexión* y *refracción* de forma simple.

Contemporáneo a Newton era Christian Huygens quien mostró que si se considera a la luz como una *onda* también es posible demostrar la *refracción* y *reflexión*. Esta *Teoría ondulatoria* de la luz no fue aceptada de forma inmediata por la comunidad científica, hasta que Thomas Young demostró que en ciertas condiciones la luz exhibe un comportamiento de *interferencia*, esto es, en algunos puntos de la vecindad entre dos fuentes lumínicas, las ondas de luz se combinan pudiéndose observar *interferencias destructivas* y *constructivas*, fenómeno propio de las ondas.

Maxwell en 1.873 demostró que la luz es una onda electromagnética de alta frecuencia, y predijo que estas ondas deben tener una velocidad de  $3 \cdot 10^8 [m/s]$ , lo que fue confirmado experimentalmente por Hertz, quien demostró además que la luz se *refleja*, *refracta* y tiene todas las propiedades de una onda. Aunque es posible explicar gran parte de los fenómenos ópticos, la *Teoría ondulatoria* es incapaz de explicar el *fenómeno fotoeléctrico*.

El *fenómeno fotoeléctrico* corresponde a la emisión de electrones por algunos metales al ser expuestos a una fuente lumínica y fue explicado con el concepto de *cuantización* de Albert Einstein, el cual propone que la energía de una onda de luz se presenta en “paquetes” de energía llamados *fotones*, lo que da una idea de luz cuantizada. En la actualidad la luz se considera con una *naturaleza dual*, esto es, en ocasiones la luz se comporta como *onda* y en otras como *partícula*.

## 2. Características de la luz

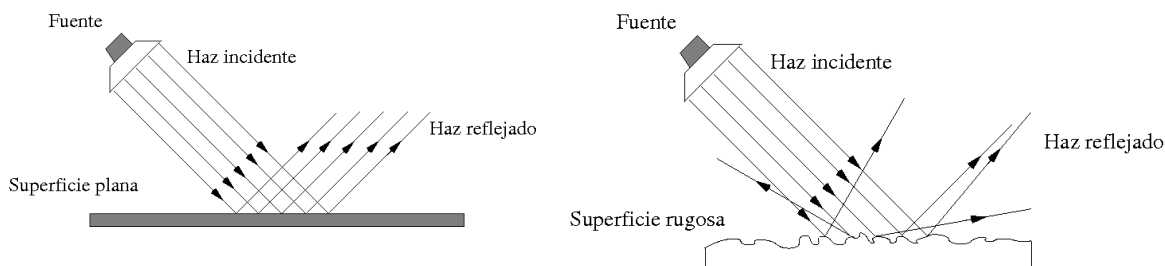
- Es una onda electromagnética de alta frecuencia.
- Está compuesta por partículas sin masa llamadas *fotones*, las que contienen energía.
- Tiene una naturaleza dual: se comporta como onda y también como partícula.
- Es una manifestación de la energía.
- Gracias a su naturaleza electromagnética, no necesita de un medio material para propagarse, a diferencia del sonido.
- La velocidad de cualquier onda electromagnética, en particular de la luz, es finita y depende del medio. En el vacío esta velocidad es igual a  $3 \cdot 10^8 [m/s]$  o , lo que es suficiente para dar 7,5 vueltas a la Tierra en un segundo.
- En un medio homogéneo la luz se propaga en línea recta, siendo un caso puntual del *Principio de Fermat*.
  - *Principio de Fermat*: El trayecto seguido por la luz al propagarse es tal que el tiempo empleado es mínimo.
- Es posible representar la luz por *rayos*, los que pueden ser *divergentes*, *convergentes* o *paralelos*.

- Se llama *haz de luz* a un conjunto de *rayos*.

### 3. Reflexión

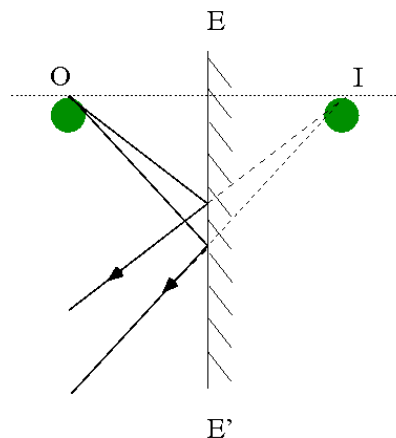
Fenómeno que sucede cuando un haz de luz choca con una superficie, y parte del haz luminoso vuelve a propagarse por el mismo medio por el que venía, pero en otra dirección. Cumple con la *ley de reflexión* descrita anteriormente, es decir, el ángulo del haz incidente es igual al ángulo del haz reflejado. Recordemos que los ángulos son medidos respecto de la *normal*, recta perpendicular a la superficie en el punto de incidencia.

Cuando la superficie es lisa, los rayos del haz luminoso, luego de ser reflejados, se mantienen paralelos, lo que llamaremos *reflexión especular*, en cambio, si la superficie es irregular, el haz reflejado no queda bien definido, a esto último lo llamaremos *reflexión difusa*.



#### 3.1. Espejo plano

Se llama *espejo plano* a cualquier superficie plana que refleje *especularmente* la luz. Considérese un objeto luminoso, representado en la figura por  $O$ , que es colocado frente al espejo  $EE'$ . Se representan algunos rayos de luz y sus reflexiones según la *ley de reflexión*. Si trazamos ahora las extensiones o prolongaciones de los rayos reflejados, llamados rayos virtuales, es posible observar analíticamente que estas prolongaciones convergen en un punto  $I$ , así la luz que se refleja por el espejo plano parece ser emitida desde la intersección  $I$  de los rayos virtuales. Aquel punto se encuentra a la misma distancia que el objeto, respecto del espejo. situado imaginariamente dentro del espejo.



En un espejo plano, la imagen reflejada parece ser emitida desde un punto equidistante al objeto.

### 3.1.1. Imagen virtual

Se denomina *imagen virtual* a la imagen formada por la intersección de los rayos virtuales. Esta imagen no puede proyectarse en una pantalla debido a que no se emite luz desde el punto imagen. En el caso particular de un espejo plano, la imagen formada detrás de él no existe, a pesar que para nuestro cerebro si parece estar ahí.

### 3.1.2. Imagen Real

Se llama *imagen real* a aquella que es formada por la intersección de rayos reales. Esta imagen si puede proyectarse en una pantalla debido a que si se emite luz desde el punto imagen.

## 4. Refracción

Es la desviación de la trayectoria rectilínea de la luz al pasar de un medio a otro de distinta densidad, cumpliendo la *ley de refracción*. Este fenómeno se debe al principio de Fermat y la diferencia de velocidad de propagación de la luz entre un medio y otro. Recordando la ley de refracción:

$$\frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} = \frac{V_1}{V_2}$$

donde  $V_1$  es la velocidad de la luz en el primer medio,  $V_2$  su velocidad en el segundo medio, así  $V_1/V_2$  es una constante y los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  los ángulos de incidencia y refracción respectivamente. Tomando el caso particular de la luz cuando viaja por el vacío y sufre refracción al penetrar en otro medio se tiene:

$$\frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} = \frac{c}{V}$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $V$  su velocidad al penetrar en otro medio. El cociente  $c/V$  se denomina *índice de refracción*  $n$ , es decir,  $n = c/V$ . De esto se desprende la siguiente relación fundamental.

$$V = \frac{c}{n} \quad (1)$$

La velocidad de la luz en un medio será el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y el índice de refracción propio del medio. Como el límite de velocidad es  $c$ , se cumple que  $n \geq 1$ . Para el caso del aire se considera  $n = 1$  ya que la velocidad de la luz en el vacío y en el aire son prácticamente iguales. Reemplazando (1) en la ley de refracción se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} &= \frac{V_1}{V_2} \\ &= \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} \\ \frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} &= \frac{n_2}{n_1} \end{aligned}$$

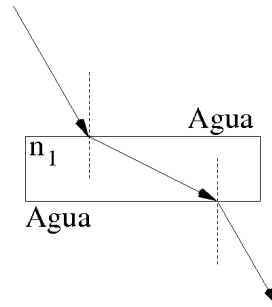
Por lo tanto:

$$n_1 \text{sen}(\alpha) = n_2 \text{sen}(\beta) \quad (2)$$

La ecuación (2) es conocida como la *ley de Snell* que es otra forma de escribir la ley de refracción. Podemos decir ahora que: cuando un rayo de luz es transmitido a través de una interfase entre dos medios físicos, con distinto  $n$ , el producto entre el índice de refracción y el seno del ángulo debe ser igual en ambos lados de la interfase.

**Ejemplo**

Un rayo de luz viaja por el agua y atraviesa un medio transparente de índice de refracción  $n_1$ . Según la figura, ¿el índice de refracción  $n_1$  es mayor o menor que el índice de refracción del agua?

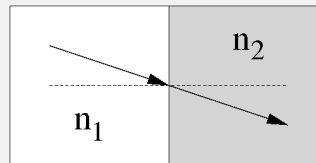


**Solución:** Podemos ver que cuando el rayo se refracta, pasando desde el agua a este nuevo medio transparente, su dirección cambia. La luz en el medio desconocido se aleja a la normal, es decir, el ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia. Para que se mantenga la igualdad en la ecuación (2) debemos realizar el siguiente análisis: si el ángulo de refracción crece respecto del de incidencia, entonces el índice de refracción  $n_1$  tiene que ser menor que el índice de refracción del agua.

**Desafío...**



¿Qué condición deben cumplir  $n_1$  y  $n_2$  para que los rayos incidente y refractado se comporten como muestra la figura? [Respuesta](#)



Presentamos a continuación una tabla con valores de los índices de refracción de algunos medio físicos.

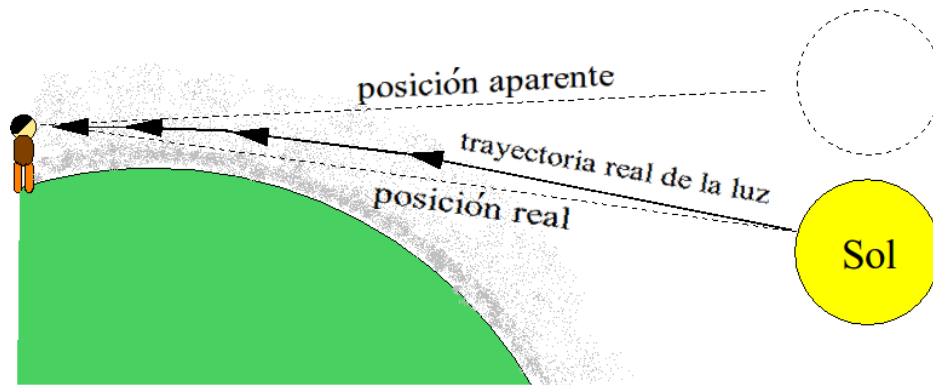
Sustancia	$n$
Hielo	1,31
Sal de cocina	1,54
Cuarzo	1,54
Circonio	1,92
Diamante	2,42
Rutilio	2,80
Vidrio	1,50
Alcohol etílico	1,36
Agua	1,33
Glicerina	1,47
Disulfuro de carbono	1,63

**Desafío...**

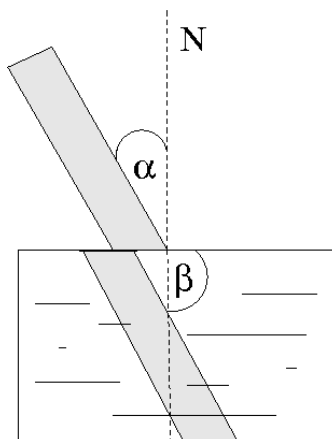


¿Podemos distinguir un objeto transparente, que posee un índice de refracción igual a 1,33, sumergido en el agua? [Respuesta](#)

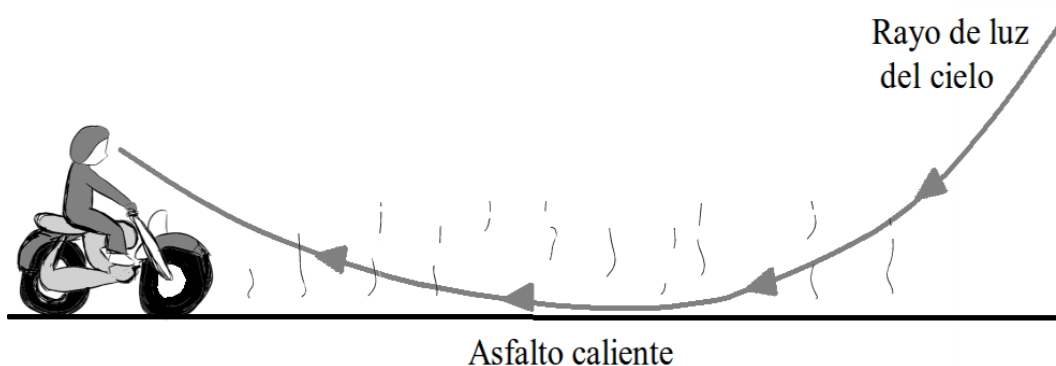
Cuando se observa el Sol en la línea del horizonte, lo que en verdad estamos viendo es una imagen virtual del Sol, debida a la refracción de la luz al atravesar la atmósfera terrestre. Este fenómeno permite contar con más minutos de luz al día.



Al introducir un objeto a un vaso de agua, se produce un efecto de “quebrado” debido a la refracción. La parte sumergida del objeto parece estar más cerca de lo que realmente está.

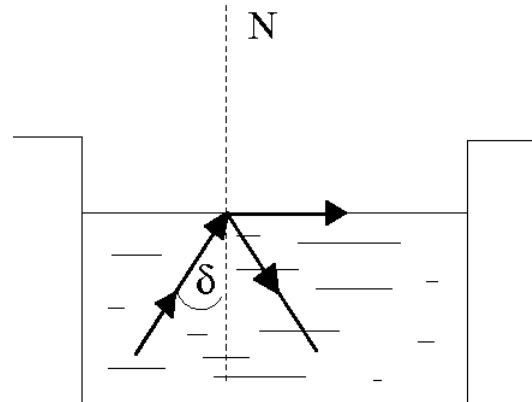


Como dijimos anteriormente, un mismo material con distinta temperatura constituye un medio distinto de propagación, es decir, la luz al atravesar el aire por sectores con diferentes temperaturas se refracta. Los espejismos en las carreteras son un claro ejemplo de ello. Cuando el asfalto está caliente, el aire alrededor de él se calienta y hace que los rayos que vienen desde arriba se desvíen. La luz procedente del cielo incrementa su rapidez en el aire cerca del asfalto, ya que el aire caliente es menos denso que el que está arriba. Cuando la luz roza la superficie y se desvía hacia arriba, el observador ve el espejismo.

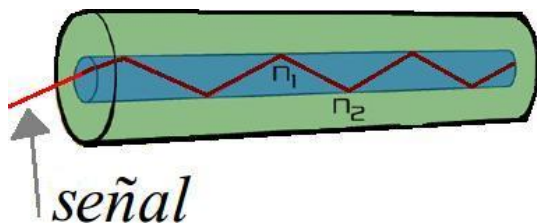


#### 4.1. Reflexión interna total

Es la reflexión del 100 % de la luz (sin transmisión) al incidir en la frontera de dos medios distintos. Cuando un rayo de luz pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro de menor (como del agua al aire), el ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia, es decir, el rayo de luz al pasar del agua al aire se aleja de la normal. A medida que el ángulo de incidencia aumenta, el ángulo de refracción también lo hace hasta cierto ángulo límite llamado *ángulo crítico*, en el cual el rayo refractado es perpendicular a la normal, formando un ángulo de  $90^\circ$ . Para ángulos de incidencia superiores al *ángulo crítico*, el rayo sólo se refleja.



Este fenómeno está presente en el principio de la *fibra óptica* que consiste en hacer incidir luz en pequeños cables con dos capas de material plástico de distinto índice de refracción, de tal manera que la información enviada, a través de la onda de luz, se mantenga en el cable sin pérdidas de información debido a la ausencia de transmisión de luz al medio que rodea al cable. Esta tecnología ha contribuido a perfeccionar las redes comunicacionales a largas distancias, desplazando a los cables eléctricos.



#### 5. Absorción

Es un fenómeno ligado directamente al color, se define como una disminución paulatina de la intensidad luminosa a medida que un rayo de luz avanza en un medio transparente. Parte del haz es absorbido y la otra es reflejada por el objeto, lo que depende directamente de la composición química de éste, siendo el color que percibimos la luz que refleja el objeto. Los materiales absorben la luz dependiendo de la longitud

de onda del haz, por ejemplo, si alumbramos un objeto con luz blanca y se ve rojo, es porque la única luz que deja escapar es la roja. Pero si este mismo objeto lo iluminamos con luz azul se verá negro, debido a que absorbe todos los colores del espectro con el cual se le está alumbrando.

### Desafío...



¿De qué color debería pintar su habitación si desea que los muros reflejen la mayor cantidad de luz posible? [Respuesta](#)

Notar que la luz blanca es la suma de todos los colores y el negro es la absorción casi total de la luz. La absorción de luz está relacionada directamente con la recepción de energía.

### Desafío...



Si una flor se calienta más cuando recibe luz roja, que cuando recibe luz violeta, ¿de qué color es más probable que sea ésta? [Respuesta](#)

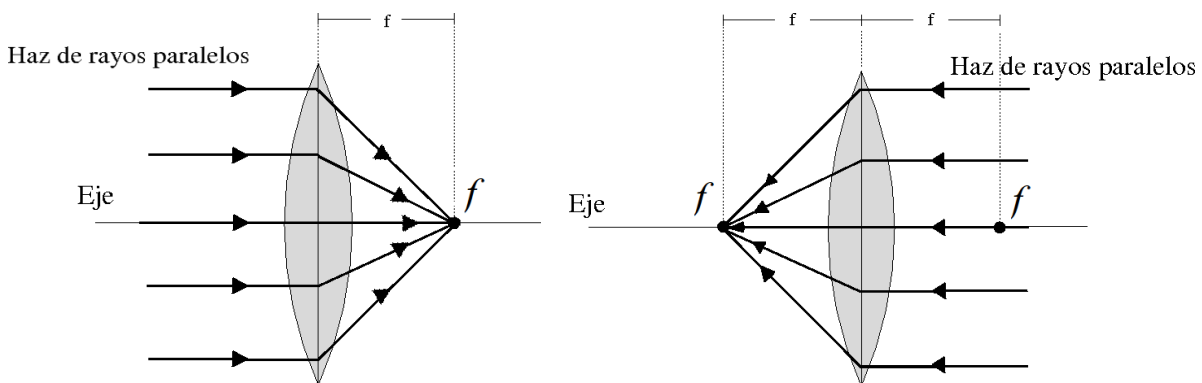
## 6. Lentes

### 6.1. Lentes esféricas

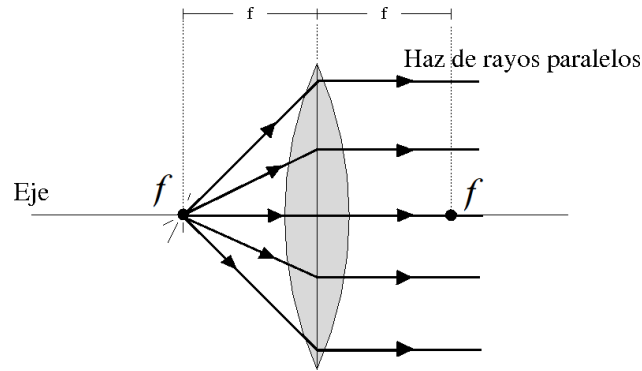
Son dispositivos ópticos usados, por ejemplo, en anteojos, cámaras fotográficas y telescopios. Están formados por un material homogéneo transparente, con una curvatura tal que hace converger o divergir los rayos de luz. Sus caras pueden ser cóncavas, convexas o planas.

#### 6.1.1. Lente biconvexa o convergente

Tiene ambas caras convexas. Por tener el centro más grueso que los extremos, los rayos al refractarse, tienden a converger. El punto donde convergen los rayos paralelos de luz, se denomina *foco* de la lente,  $f$ , y la distancia de  $f$  a la lente, se denomina *distancia focal*. Si se hace incidir un haz de rayos paralelos de luz, sobre la otra cara del lente biconvexo, se obtiene otro punto de convergencia de los rayos, o foco, simétrico al anterior. Cualquier rayo que se emite desde el foco y pasa a través de la lente, se vuelve paralelo al eje de simetría.

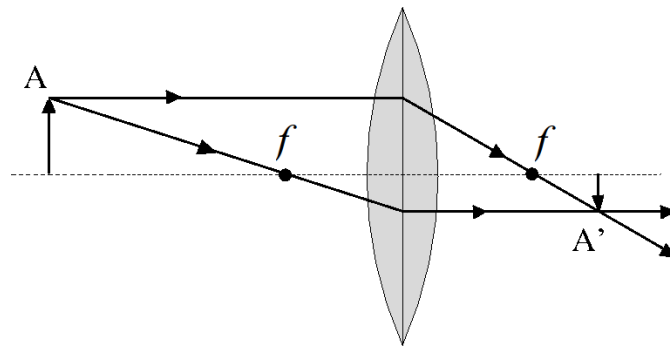




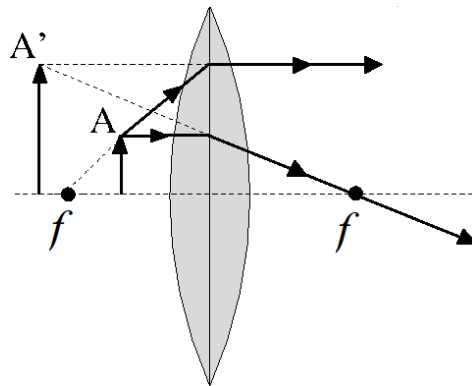


La formación de imágenes en la lente convergente, depende de la posición del objeto observado con respecto al foco, teniéndose que:

- Si la distancia del objeto al lente es mayor que  $f$ , entonces la imagen es real, invertida y menor que el objeto observado.



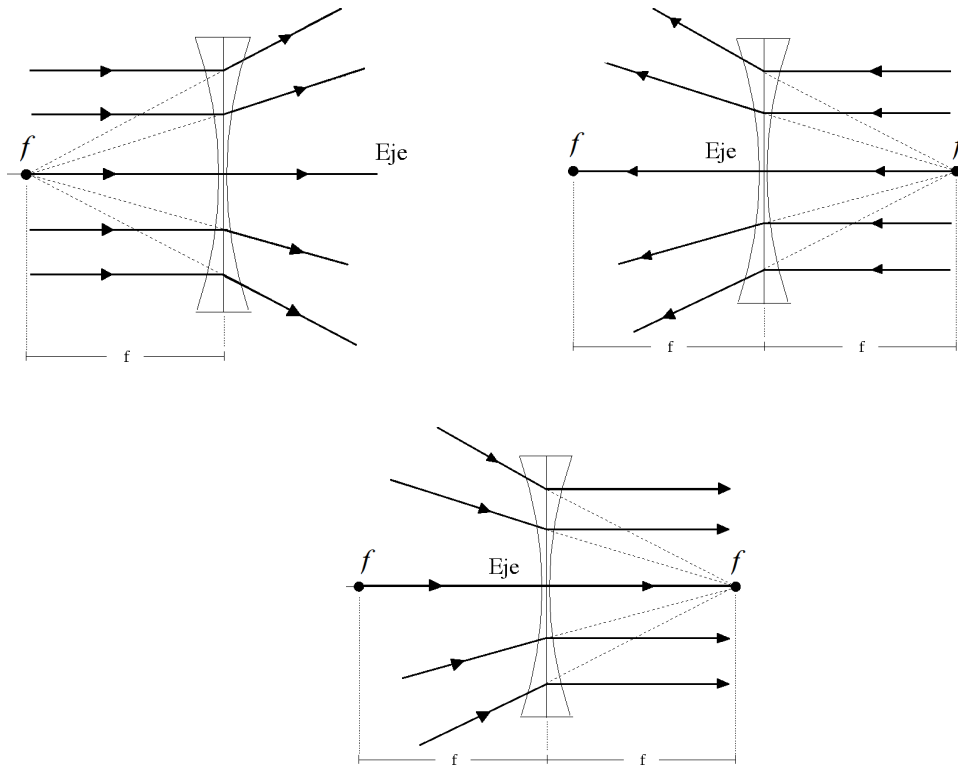
- Si el objeto se encuentra entre el foco y la lente, entonces la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño respecto a la original.



### 6.1.2. Lente bicóncavo o divergente

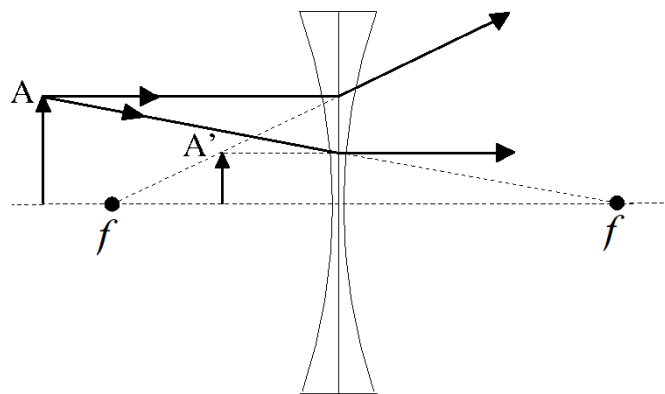
Tiene ambas caras cóncavas. Por tener el centro más delgado que los extremos, los rayos al refractar divergen de manera que las prolongaciones de estos rayos divergentes se encuentran en un punto,  $f$ . Tal punto se denomina *foco* de la lente divergente, y su distancia a ella es la distancia focal  $f$ . De la misma manera, si se hace incidir rayos paralelos por la otra cara de la lente, éstos divergen de tal manera que sus prolongaciones coinciden en un punto llamado *foco*, el cual es simétrico al otro foco. Los rayos cuyas

prolongaciones pasan por un foco, después de atravesar la lente se vuelven paralelos al eje. Importante es saber que la distancia focal, depende directamente del medio en donde se encuentra la lente y lo dicho anteriormente se supone para lentes en aire.



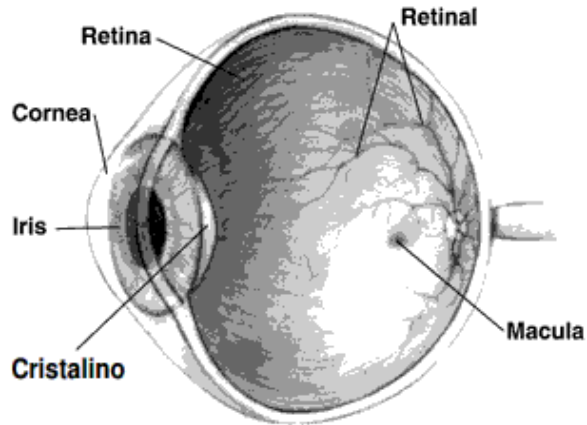
La formación de imágenes en la lente divergente es tal que:

- La única posibilidad, en una lente divergente, es que la imagen sea virtual, derecha y de menor tamaño.



## 7. El ojo

Es un fantástico sistema óptico formado por dos lentes convergentes: la *córnea* y el *crystalino*; y una pantalla compuesta por miles de células fotosensibles, en donde se proyecta una imagen real del mundo observado. Esta pantalla es la *retina* y las células que la componen se llaman *bastones* y *conos*, las cuales envían señales eléctricas al cerebro que finalmente son interpretadas como una imagen.



## 7.1. Formación de la imagen

- 1 La luz de un objeto llega al ojo pasando primero por la *córnea*, que es una lente convergente, en donde los rayos luminosos sufren la primera refracción que ayuda a orientarlos hacia la *pupila*.
- 2 La luz atraviesa una pequeña abertura llamada *pupila*, la cual puede cambiar su tamaño, y así variar la intensidad de luz que entra. El grupo de músculos que hacen posible este movimiento se llama *iris*, que dan además el color al ojo.
- 3 Después de haber pasado por la pupila, la luz atraviesa el segundo lente convergente, el *cristalino*, el cual tiene la capacidad de variar su longitud focal a través de deformaciones. El cristalino tiene la misión de enfocar los rayos a la retina.
- 3 En la *retina* los rayos forman una imagen real e invertida que estimula las células fotosensibles: los bastones y conos.

## 7.2. Enfermedades oculares

### 7.2.1. Visión normal

El órgano ocular normalmente funciona adaptando el *cristalino*<sup>1</sup>, aumentando o disminuyendo su convergencia, dependiendo de la distancia entre el objeto y el observador. En una persona normal la imagen se forma en la *retina*<sup>2</sup> del ojo.

### 7.2.2. Miopía

Ocurre cuando el globo ocular es más largo de lo normal, por lo que la imagen se forma antes de llegar a la *retina*. Una persona miope ve mejor los objetos cercanos, mientras que los que están lejanos lo ve borrosos. La corrección se logra anteponiendo un lente *divergente*.

<sup>1</sup> *Cristalino*: Componente del ojo con forma de lente biconvexo. Permite enfocar objetos a distintas distancias, mediante cambios de curvatura y espesor.

<sup>2</sup> *Retina*: Corresponde a la capa más interna del globo ocular y está formada por tejido fotoreceptor.

### 7.2.3. Hipermetropía

Sucede cuando el globo ocular es más corto de lo normal, por lo que la imagen se forma detrás de la *retina*. Una persona con hipermetropía puede ver bien los objetos lejanos, no así los que se encuentran cerca de él. La corrección se logra anteponiendo un lente *convergente*.

### 7.2.4. Presbicia

Es el endurecimiento del *crystalino*, lo que produce la pérdida de la capacidad de acomodación visual o enfoque. Es conocida también como vista cansada.

### 7.2.5. Astigmatismo

Es un estado ocular producido, generalmente, por un problema en la curvatura de la *córnea*<sup>3</sup>, impidiendo el enfoque claro de objetos lejanos y cercanos. Una persona con astigmatismo ve los objetos borrosos y deformes. Se soluciona con lentes cilíndricos.

### 7.2.6. Estrabismo

Es la incapacidad de dirigir ambos ojos a un mismo punto. Se debe a una rigidez de la musculatura encargada del movimiento ocular. Se soluciona con lentes prismáticos.

## Desafíos resueltos

- ✓ Desafío I: Para que el rayo de luz no se desvie  $n_1$  y  $n_2$  deben tener el mismo valor, de este modo el rayo “no sentirá” que ha pasado a otro medio. [Volver](#)
- ✓ Desafío II: No podremos distinguirlo, ya que necesitamos que se produzca refracción para diferenciarlo del medio que lo contiene. Cuando los índices de refracción son iguales no hay desvío de los rayos de luz y por lo tanto no podemos distinguirlo. [Volver](#)
- ✓ Desafío III: Si queremos pintar una habitación de tal modo que las paredes reflejen la mayor cantidad de luz posible, éstas deben ser de color blanco ya que éste color absorbe una cantidad de luz pequeña y refleja el resto, más que los demás colores. [Volver](#)
- ✓ Desafío IV: Si se calienta más al ser iluminada con rojo que con violeta, es más probable que sea violeta ya que, los colores de las cosas que vemos corresponden a aquellos que fueron reflejados por éste y no los absorbidos. [Volver](#)

---

<sup>3</sup> *Córnea*: Estructura transparente localizada al frente del órgano ocular. Su función principal es permitir el paso de luz al interior del ojo, protegiendo al iris y cristalino.

## Bibliografía

- [1 ] FÍSICA 1° EDUCACIÓN MEDIA, *Cuarta edición*, Santillana (2009)  
*Mario Toro Frederick, Rodrigo Marchant Ramirez, Mauricio Aguilar Baeza.*
- [2 ] FÍSICA TOMOS II, *Tercera edición*, Mc Graw-Hill. México (1992)  
*Raymond A. Serway.*
- [3 ] CIENCIAS PLAN COMÚN, FÍSICA, Chile (2007)  
*Dirección académica CEPECH.*
- [4 ] FÍSICA GENERAL, Tercera edición, Harla. México (1981)  
*Beatriz Alvarenga, Antônio Máximo.*
- [5 ] FÍSICA CONCEPTUAL, *Novena edición*, Pearson Educación. México (2004)  
*Paul Hewitt.*
- [6 ] ASTRONOMÍA CONTEMPORÁNEA, *Primera edición*, Ediciones B, Chile (2009)  
*José Maza.*
- [7 ] MANUAL DE ENTRENAMIENTO ACTIVE LEARNING IN OPTICS AND PHOTONICS, (2006)  
*UNESCO.*
- [8 ] INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA, *Séptima edición*, Editorial Kapelusz, Argentina (1958)  
*Alberto Maiztegui, Jorge Sabato.*