

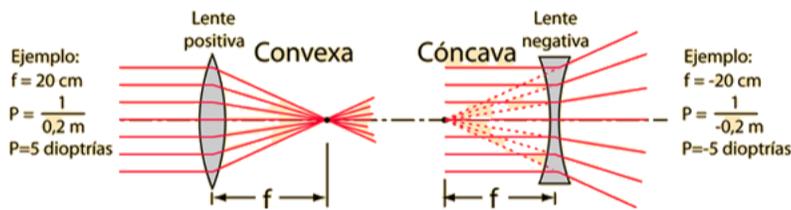


ÓPTICA III

# REFRACCION



$$n = \frac{c}{v}$$



## REFRACCIÓN

Cuando la luz pasa de un medio transparente a otro se produce un cambio en su dirección debido a la distinta velocidad de propagación que tiene la luz en los diferentes medios materiales. A este fenómeno se le llama refracción.

Esto sólo puede suceder cuando la luz se propaga con velocidades distintas en los dos medios.



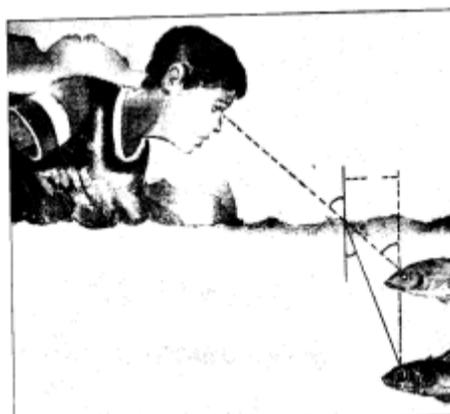
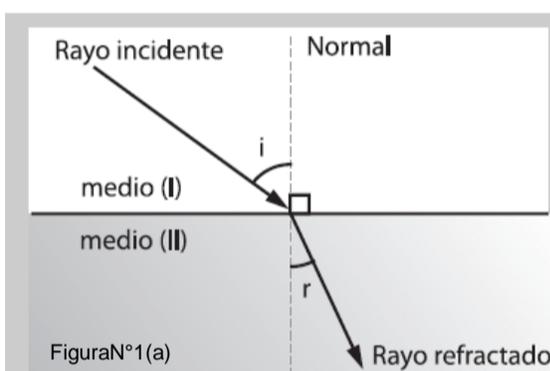


**OBJETIVOS:** Ud. Deberá ser capaz de :

1. definir la refracción de la luz
2. comprender el comportamiento que tiene la luz frente a distintos medios
3. describir la ley de refracción
4. describir fenómenos ópticos asociados a la refracción
5. describir el comportamiento de distintos medios refringentes ,como por ejemplo ,prismas ,lentes y otros.

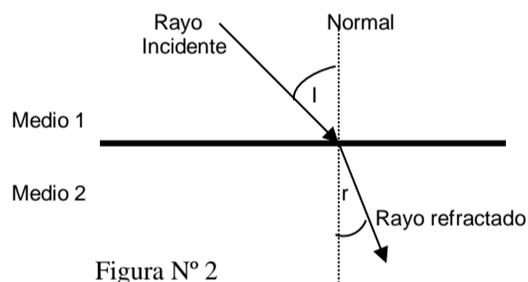
## LA REFRACCIÓN DE LA LUZ

Cuando un haz de luz que viaja por un medio y se encuentra con otro medio transparente, parte de él se refleja y otra parte ingresa al segundo medio produciéndose el fenómeno de la refracción, las figuras siguientes muestran el fenómeno descrito anteriormente. En la figura N° 1(a) se muestra un haz de luz que viaja por el aire, incide en el vidrio, parte de él se refleja y otra parte se refracta acercándose a la normal. En la figura N° 1 (b) se muestra un rayo de luz que viaja del aire al agua, en este caso el rayo refractado se acerca a la normal.



En el fenómeno de la refracción la rapidez de propagación de la luz **siempre cambia** y la dirección de propagación del rayo de luz solo cambia, cuando el rayo incide en forma oblicua sobre la superficie de separación.

la figura N° 2 muestra a un rayo incidente, la normal y al rayo refractado. El ángulo  $i$  corresponde al ángulo incidente y el ángulo  $r$  corresponde al ángulo de refracción, el que se forma entre la normal y el rayo refractado.



Willebrord Snell, astrónomo danés, logro establecer una ley matemática que relaciona la rapidez de la luz en el primer medio con la rapidez de la luz en el segundo medio y los ángulos de incidencia y de refracción, respectivamente. Esta ley recibe el nombre de ley de Snell en honor a su descubridor. (Ecuación N° 1)

$$\text{Ecc. N°1} \quad \frac{\text{sen ángulo incidente}}{\text{sen ángulo refractado}} = \frac{v_1}{v_2}$$

Si el medio 1 es el vacío, la rapidez de la luz en ese se simboliza con la letra  $c$  y la rapidez de la luz en el medio 2 es  $v$ , al efectuar el cociente entre las respectivas rapidezces se obtiene una constante, que recibe el nombre de índice de refracción absoluto ( $n$ ) (ecuación N° 2)

$$\text{Ecc. N° 2} \quad n = \frac{c}{v}$$

$c$ : rapidez de la luz en el vacío  
 $v$ : rapidez de la luz en el segundo medio  
 $n$ : índice de refracción

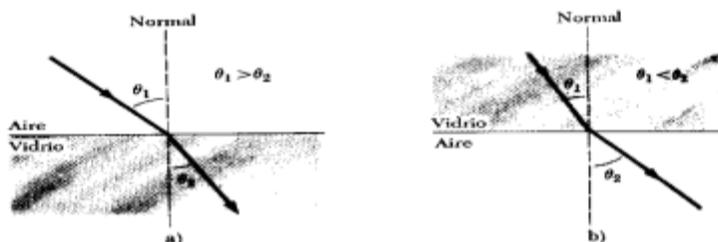


Tabla de índice de refracción absoluta para la luz en algunas sustancias

Sustancia	índice de refracción absoluto (n)
Aire	1,0
Agua	1,3
Vidrio crown	1,5
Glicerina	1,4
diamante	2,4

En el fenómeno de la refracción luminosa, la rapidez de propagación cambia cuando la luz pasa de un medio a otro, la onda luminosa mantiene constante su frecuencia, cambiando su longitud de onda, por ejemplo, cuando un rayo de luz monocromático viaja del aire al agua, la luz al ingresar al agua disminuye su rapidez en alrededor de un 25 %. Esta luz monocromática mantiene su frecuencia y disminuye su longitud de onda, por ejemplo, cuando un rayo de luz de color rojo viaja del aire al agua, el color de la luz no cambia, de lo anterior se deduce que el color en la luz esta relacionado con la frecuencia de la onda luminosa y no con su longitud ni con su rapidez.

Cuando un rayo de luz incide en forma oblicua, su dirección de propagación cambia, acercándose o alejándose de la normal. En la siguiente figura se muestra dos ejemplos de rayos de luz que cambian de medio. En el diagrama (a) la luz pasa de un medio menos denso a uno más denso, el rayo refractado se acerca a la normal. En el diagrama (b) la luz pasa de un medio más denso a uno menos denso, el rayo refractado se aleja de la normal.



### Reflexión total interna

Si un rayo de luz que es emitido por un punto O, como lo muestra la figura, viaja de un medio 1 a un medio 2, siendo  $n_1 > n_2$ , este rayo al refractarse se aleja de la normal. También sabemos que si el ángulo de incidencia también aumenta el ángulo de refracción, cumpliéndose la ley de Snell, si se sigue aumentando el ángulo de incidencia llegara a un valor tal, que el rayo refractado será tangente a la superficie de separación de las dos medios, por lo que el ángulo de refracción tendrá un valor de  $90^\circ$ . El ángulo de incidencia que corresponde a este ángulo de refracción, recibe el nombre de **ángulo límite**.

Cualquier otro rayo que parta del mismo punto y el ángulo de incidencia sea mayor que el ángulo límite, este rayo no pasará al segundo medio, se reflejará en la superficie de separación de los dos medios, propagándose nuevamente en el primer medio (según figura). Este fenómeno recibe el nombre de **reflexión total interna**, porque en esta situación el rayo se refleja totalmente, lo cual no sucede ni en los mejores espejos, ya que siempre aunque se una pequeña parte del rayo, se absorbe.

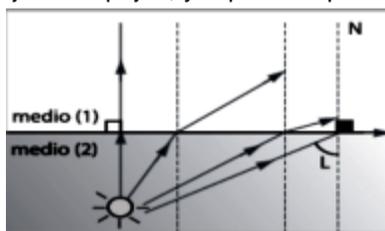
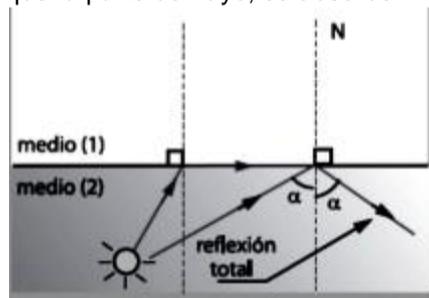
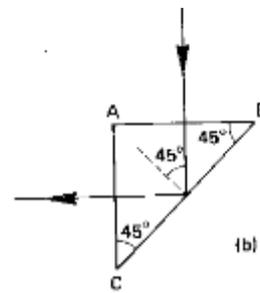
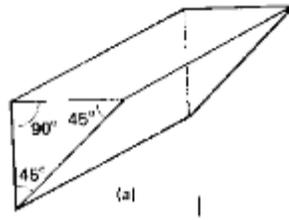


Figura N° 3





Este fenómeno se utiliza en la fabricación de algunos instrumentos ópticos, reemplazando a los espejos por un prisma isósceles (figura a). La figura (b) muestra un rayo de luz que ingresa perpendicular a la cara AB del prisma, incide en la cara BC con un ángulo de incidencia de  $45^\circ$ , el rayo se refleja y sale por la cara AC del prisma.

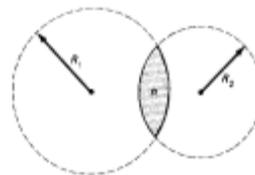


**REFRACCIÓN EN LENTES DELGADOS**

Una lente es un sistema óptico formado por dos superficies transparentes, en la cual a lo menos una de ellas es curva. Los rayos de luz que provienen desde del infinito, atraviesan las dos superficies de la lente, por lo cual aplicaremos a cada una de ellas las propiedades estudiadas en la refracción

Una lente se fabrica con un material transparente, como vidrio o plástico, con un índice de refracción mayor que el aire, limitado por caras esféricas o a lo menos una de ellas es esférica.

En la figura adjunta se representa la construcción de una lente con sus dos caras curvas.

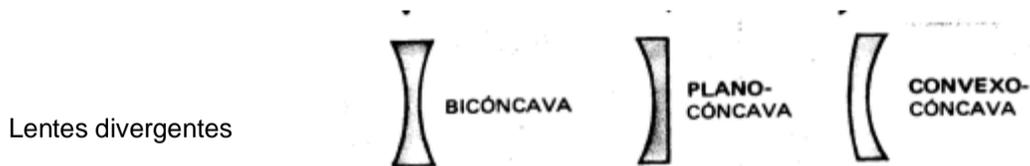
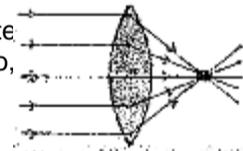


**Clasificación de las lentes**

De acuerdo con la dirección que siguen los rayos refractados cuando la luz pasa a través de la lente, se clasifican en dos grandes grupos: convergentes y divergentes. Las lentes convergentes tienen más gruesa la parte central que sus extremos, mientras las lentes divergentes tienen más angosta esta parte. Los nombres de lente convergente y lente divergente se deben a la trayectoria de la luz al pasar por las lentes cuando los rayos inciden paralelos desde el infinito.

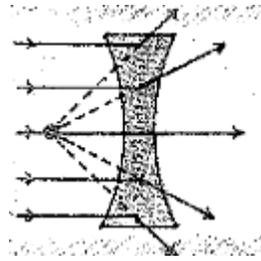


Cuando los rayos inciden paralelos entre si, en una lente convergente, estos se refractan incidiendo todos en un mismo punto, el cual corresponde al uno de los focos de la lente.



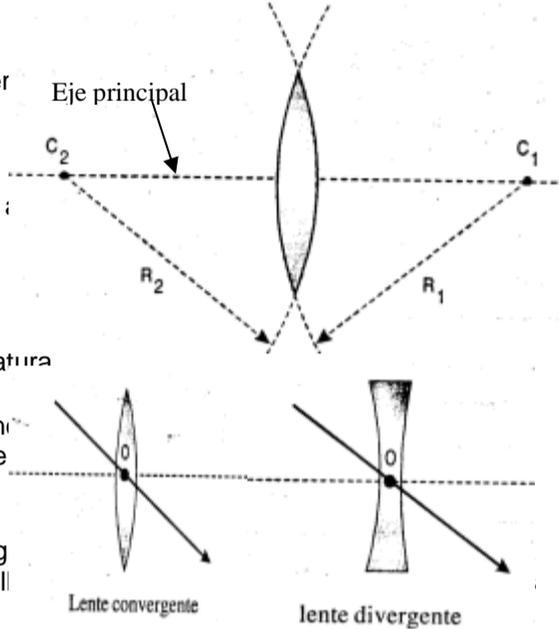


En una lente divergente, al incidir rayos paralelos entre sí, estos se refractan de tal manera, que al prolongarlos estos inciden en un punto en común, el cual corresponde a uno de los focos de la lente.

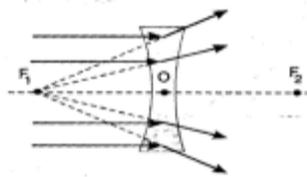


**Elementos de una lente**

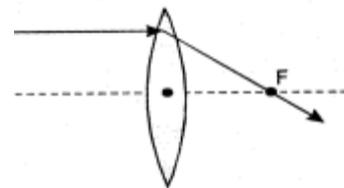
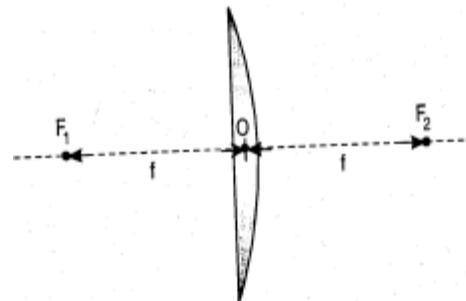
- a) Centros de curvatura: son los centros  $C_1$  y  $C_2$  de las esferas que pertenece cada una de las caras de la lente.
- b) Radio de curvatura; son los radios  $R_1$  y  $R_2$  de las esferas que pertenece cada una de las caras.
- c) Eje principal: es la recta que pasa por los centros de curvatura
- d) Centro óptico: punto de la lente situado sobre el eje principal que tiene la propiedad de no desviar los rayos que incide él.
- e) Focos (F): Cuando rayos paralelos al eje principal llegan a un punto F del eje principal, este punto es el foco.



En una lente divergente, los puntos focales se obtienen prolongando los rayos refractados.



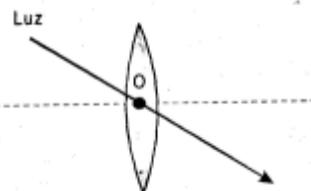
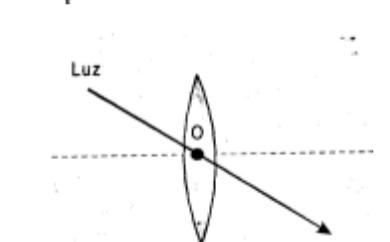
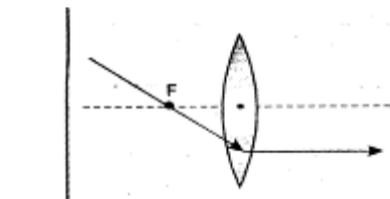
- f) Distancia focal: En las lentes, la distancia que hay entre el foco y la lente recibe el nombre de distancia focal. En una lente delgada, esta distancia equivale a  $R/2$  es la misma para ambas caras de la lente, es decir  $OF_1 = OF_2$



**Rayos notables o principales en las lentes.**

**Lentes convergentes**

1. Todo rayo que incide paralelo al eje principal se refracta pasando por el foco.
2. Todo rayo que incide pasando por el foco se refracta paralelo al eje principal.

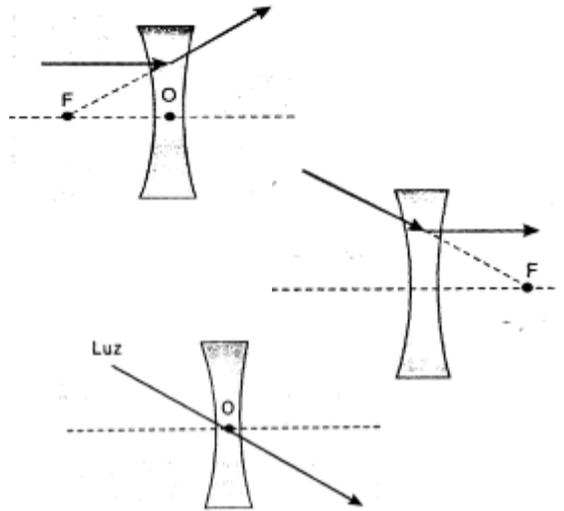




3. Todo rayo que pasa por el centro óptico se refracta sin cambiar su trayectoria.

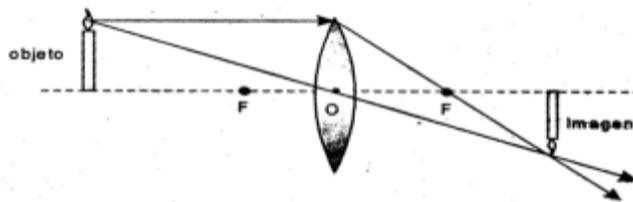
**Lentes divergentes**

1. Todo rayo que incide paralelo al eje principal se refracta en una dirección tal que su prolongación pasa por el foco.
2. Todo rayo que incide en la dirección del foco se refracta paralelo al eje principal.
3. Todo rayo que incide en el centro óptico se refracta sin cambiar de dirección su trayectoria.



**Imágenes entregadas por las lentes convergentes**

Para formar imágenes solo se requieren solo de dos rayos principales. En la figura se muestra la formación de la imagen de un objeto que se ubica entre el infinito y el centro de curvatura.



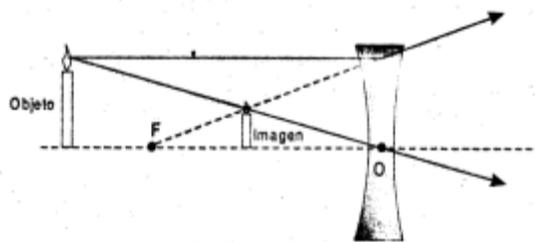
En este caso la imagen que se obtiene tiene las siguientes características: es real, invertida y de menor tamaño que el objeto.

Dibuja en tú cuaderno las imágenes que se forman en las siguientes situaciones. Cuando el objeto se ubica en:

- a) En el centro de curvatura ( $d_o = R$ )
- b) Entre el centro de curvatura y el foco
- c) Situado en el foco
- d) Situado entre el foco y la lente

**Imágenes formadas por lentes divergentes**

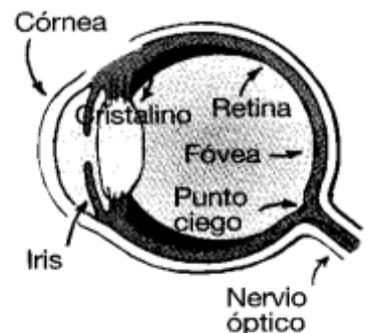
Para encontrar la imagen dada por una lente divergente se trazan dos de los rayos notables. Observamos que la imagen siempre tiene siempre las mismas características: virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto.



**El ojo humano**

Las partes principales del ojo humano, por las cuales viaja un rayo luminoso son las siguientes:

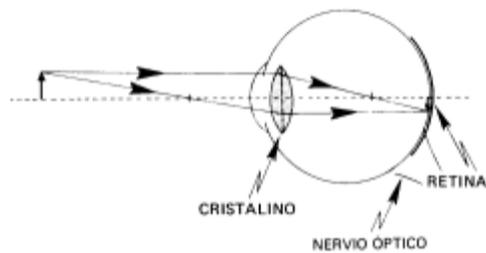
- Cornea: membrana transparente que cubre el ojo protegiéndolo, en ella los rayos de luz tienen la primera refracción.
- Humor acuoso: es un líquido que se encuentra detrás de la cornea. En este lugar los rayos de luz tienen la segunda refracción.
- Iris: es un anillo muscular que rodea la pupila, dándole el color al ojo. El regula la entrada de la luz.
- Pupila: es el orificio por el cual ingresa la luz al interior del ojo.



- **Cristalino:** es una estructura elástica formada por una sustancia transparente que tiene la forma de una lente convergente. Mediante los músculos ciliares que lo rodean, el cristalino cambia su curvatura para ajustar la imagen del objeto, regulando la distancia focal. Los rayos de luz en esta zona tienen la tercera refracción



- **Humor vítreo:** esta es una sustancia gelatinosa cristalina que ocupa la parte interna del globo ocular. La luz en esta zona tiene una cuarta refracción.
- **Retina:** es una capa de tejido que esta en la parte posterior del ojo y es sensible a la luz. La retina se comporta como una pantalla donde se recoge la luz, formándose una imagen: real, invertida y de menor tamaño que el objeto observado.
- La retina no es uniforme, en el centro de ella existe una zona llamada **fóvea**, donde llega la mayor cantidad de luz; por lo tanto, es en esta zona donde se genera la mayor cantidad de impulsos eléctricos que viaja hacia el nervio óptico. También en la retina esta ubicado el punto ciego, en el cual nace el nervio óptico; este punto no posee células receptoras de luz.



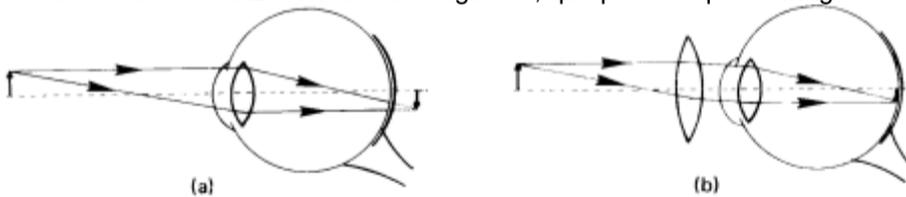
### Enfermedades del ojo humano

Entre los defectos más comunes de la visión humano son: la miopía, astigmatismo y la hipermetropía.

Un ojo **miope** tiene el globo ocular más largo que el normal, por lo que la imagen se forma antes que llegue a la retina, y los objetos cercanos se ven más nítidos que los objetos que se encuentran lejos. Para corregir este defecto se debe utilizar una lente divergente, que permite que la imagen se aleje, formándose finalmente en la retina.



Los ojos de una persona **hipermétrope**, forman la imagen detrás de la retina. En esta enfermedad el globo ocular es más corto que el normal, por lo que ven más nítido cuando el objeto se encuentra lejos; para corregir este defecto deben utilizar lentes convergentes, que permite que la imagen se forme en la retina.



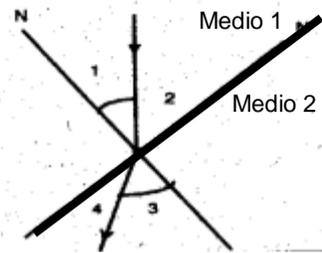
El astigmatismo es una deformación en la curvatura de la cornea, por tanto la imagen se forma distorsionada. Para corregir este defecto se debe usar una lente cilíndrica con mayor curvatura en algunos sectores que en otro.

La presbicia se genera con los años en las personas. Los músculos ciliares van perdiendo su elasticidad y al cristalino le cuesta más acomodarse, haciendo que el enfoque para los objetos cercanos sea más difícil. La presbicia puede corregirse con una lente de tipo convergente.

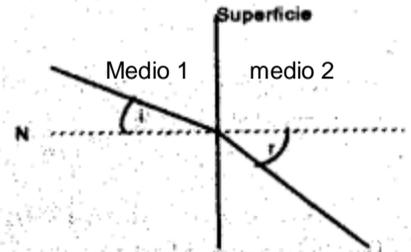


### EJERCICIOS DE REFRACCIÓN

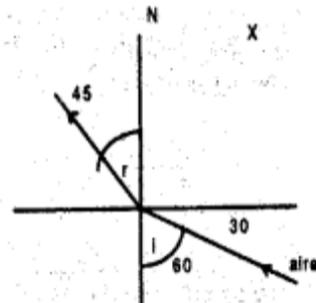
- 1) En el dibujo se representa un rayo de luz que viaja desde un medio 1 a un medio 2 indique cuál es el ángulo de incidencia y cuál es el ángulo de refracción.



- 2) La figura muestra la trayectoria de un rayo de luz que viaja del aire al vidrio. Indique cuál medio es el vidrio.

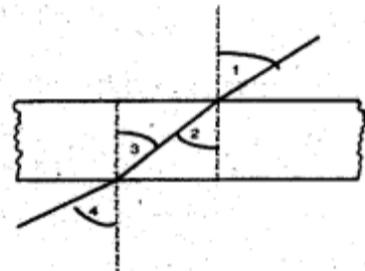


- 3) En la figura un rayo de luz viaja del aire a una sustancia x. Discuta si la sustancia x tiene un mayor índice de refracción que el aire



- 4) Un rayo de luz viaja desde un medio y atraviesa una lámina transparente de caras planas paralelas, para luego emerger al mismo medio, según figura. Si los índices de refracción del medio y de la placa son diferentes, ¿cuál(es) relación(es) entre los ángulos 1. 2. 3 y 4 es(son) correcta(s)?

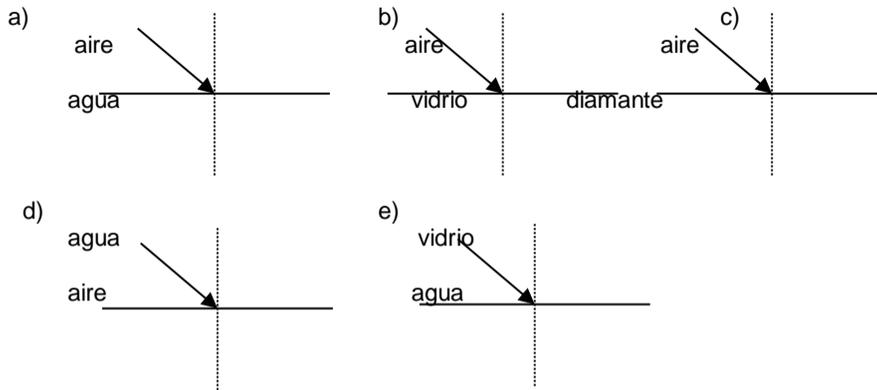
- a) ángulo 1 = ángulo 2
- b) ángulo 2 = ángulo 4
- c) ángulo 4 = ángulo 3
- d) ángulo 1 = ángulo 4
- e) ángulo 1 = ángulo 3



- 5) Si el cuarzo tiene un índice de refracción de 1.5, ¿cuál es la rapidez de propagación de la luz en su interior?
- 6) Si la rapidez de la luz en un medio transparente es 150.000 km/s.  
a) ¿Cuál es índice de refracción del medio?  
b) ¿Cuánto demora la luz en recorrer 15 m en este medio?
- 7) Se tiene un bloque transparente cuyo índice de refracción es igual a 2. La luz demora  $10^{-8}$  s en atravesarlo. ¿Qué grosor tiene el bloque?
- 8) Un rayo de luz que viaja por el aire incide sobre un vidrio de caras paralelas de un acuario, perpendicular a su superficie, sale del vidrio e ingresa al agua. Establezca la razón entre las rapidezes siguientes:  
a) Aire / vidrio  
b) Vidrio / agua  
c) Explique que significa los resultados obtenidos en la razones anteriores
- 9) Cuando se tiene un foco en el interior de una piscina al encenderlo en la noche se observa en la superficie del agua un círculo luminoso, lo anterior se debe a que la luz se refracta del agua al aire hasta cierto ángulo, este fenómeno se llama reflexión total interna. **Investigue** en que consiste este fenómeno trabaje con libros de Física obtenido en la biblioteca.
- 10) Dos rayos de luz paralelos inciden en forma oblicua a dos medios cuyos índices de refracción son 1,5 y 2,4. Si el ángulo de incidencia es de  $20^\circ$ , ¿cuál será el valor del ángulo de refracción para cada medio.

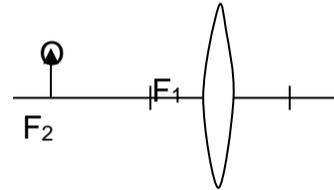


11) Dibuje la trayectoria del rayo refractado en los siguientes casos:



12) La figura de este ejercicio muestra un objeto O colocado frente a una lente convergente, y las posiciones de los focos de ésta.

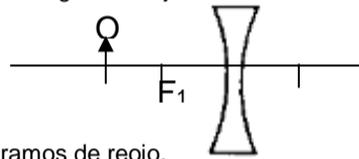
- a) Efectúe el diagrama que permita localizar la imagen de este objeto proporcionada por la lente.
- b) ¿Qué características tiene la imagen obtenida.



13) Si el objeto del ejercicio anterior se acerca a la lente y queda situado dentro de la distancia focal. Dibuje la imagen del objeto que se forma e indique las características de ella.

14) Un objeto O se encuentra frente a una lente divergente, como muestra la figura del ejercicio

- a) Mediante dos rayos principales obtenga la figura de la imagen que se forma
- b) Indique las características de esta imagen.



15) Indique que células receptoras en el ojo humano se activan cuando miramos de reojo.

16) Una persona no puede ver con nitidez los objetos porque sus imágenes se forman entre el cristalino y la retina de sus ojos.

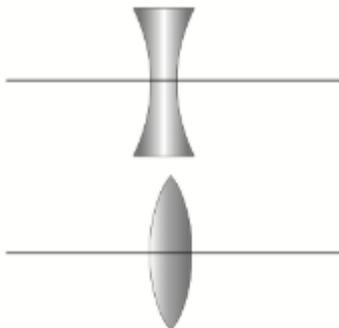
- a) ¿Cómo se denomina el defecto visual de esta persona?
- b) Para corregir esta deficiencia, ¿la persona deberá emplear anteojos con lentes convergentes o divergentes?

17) Suponga que usted observa con nitidez un objeto distante. Inmediatamente después, percibe con la misma nitidez un objeto cercano. En la acomodación de su ojo, ¿la distancia focal del cristalino aumentó o disminuyó?

18) Con respecto a la figura, indique:

- a) ¿La lupa que usa la persona tiene una lente convergente o una divergente?
- b) Las hormigas que se observan a través de la lente, ¿se encuentran situadas a una distancia de la lente mayor, menor o igual a su distancia focal?
- c) La imagen de las hormigas que ve el observador, ¿son reales o virtuales?

19) Realiza un esquema de la trayectoria de los rayos que inciden, paralelos al eje óptico, en una lente convergente y en una divergente.





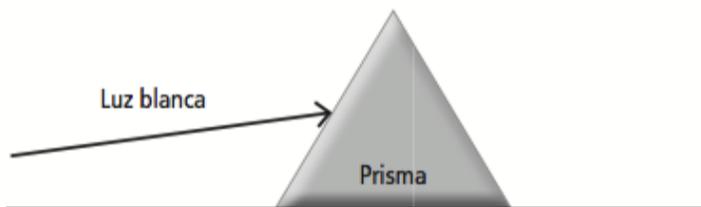
20) ¿Por qué una lupa aumenta el tamaño de la imagen de un objeto observado a través de ella? Realiza un esquema que explique lo anterior.



21) Completa la siguiente tabla con las diferencias y semejanzas entre las ondas electromagnéticas y las ondas sonoras.

	Ondas electromagnéticas	Ondas sonoras
Diferencias		
Semejanzas		

22) Realiza un esquema de la dispersión cromática de la luz en un prisma, indicando el nombre de los distintos colores que se obtienen.



23) Completa la siguiente tabla, marcando las características de la imagen que se forma en cada caso.

Caso	Real	Virtual	Derecha	Invertida	De mayor tamaño	De igual tamaño	De menor tamaño
Un objeto ubicado más allá del foco, frente a una lente convergente.							
Un objeto ubicado entre el foco y una lente convergente.							
Un objeto ubicado más allá del foco, frente a una lente divergente.							
Un objeto ubicado entre el foco y una lente divergente.							



- 24) Usando los rayos notables, dibuja la imagen que se forma al ubicar un objeto frente a una lente divergente, como se muestra a continuación.

