

GUÍA 5 DE FÍSICA: LA LUZ II
PROF. RODRIGO NAVAS F.

I. TRANSMISIÓN DE LA LUZ

Cuando un rayo incide en una superficie transparente como el aire, agua, vidrio, etc se transmite y si lo hace en un ángulo distinto a 90° respecto de la superficie, entonces se refracta. Esta propiedad es responsable de fenómenos de posición aparente, por ejemplo cuando vemos quebrado un objeto que se encuentra parcialmente sumergido en agua, además al observar un pez en el agua desde el exterior, un estrella en el firmamento o el espejismo en la carretera, debido a la refracción generamos la sensación de que los objetos se encuentran donde no están, por ejemplo en los espejismo vemos la luz azul del cielo que se refracta en el aire caliente que se encuentra sobre el asfalto en los días de alta temperatura.

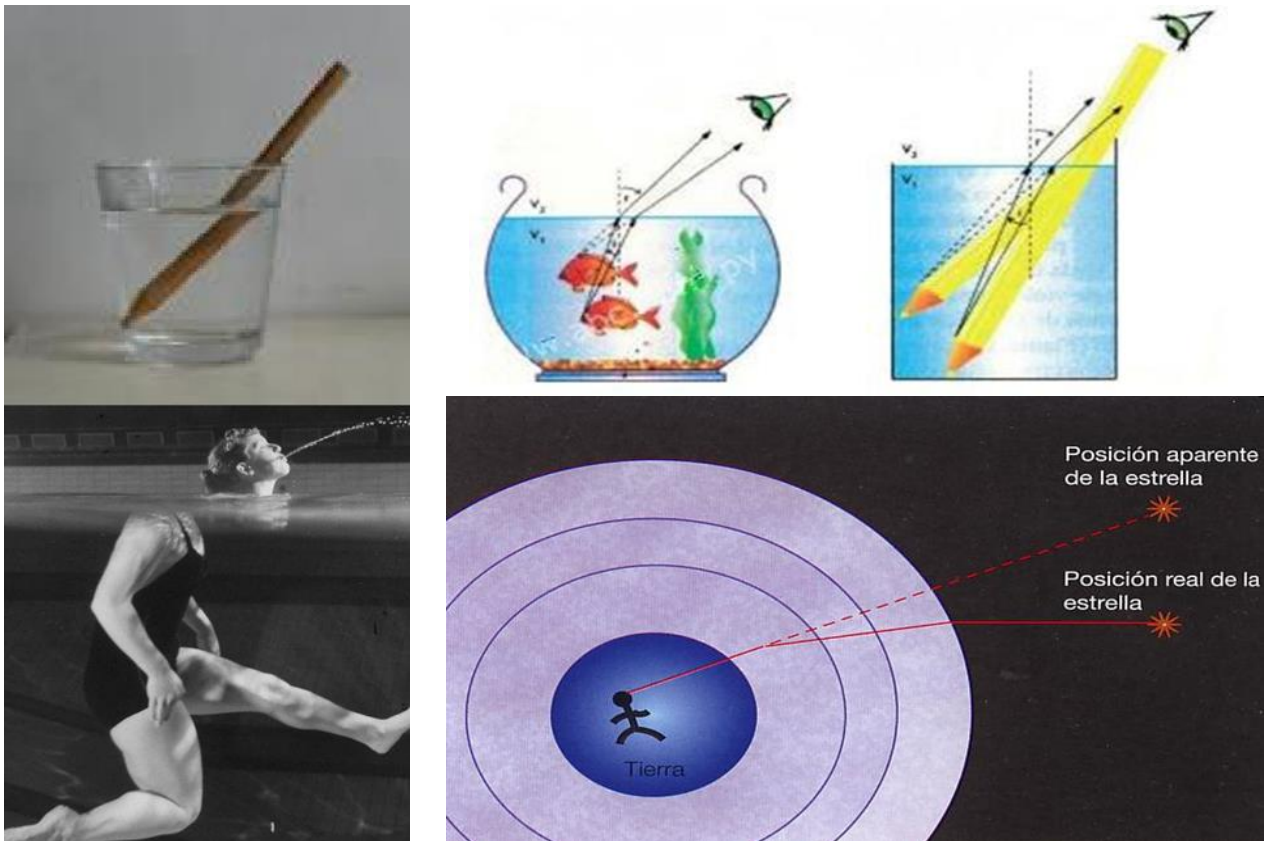


Figura: Ejemplos de refracción de la luz, generando posiciones aparentes de los cuerpos observados

Vimos que la luz se desplaza a menor velocidad en los medios materiales sólidos que en el aire, hecho que contrasta con el sonido, por ejemplo. Para comprender lo anterior, consideremos las partículas exteriores en la superficie de un cristal, la transmisión de la luz ocurre como sigue: Cuando un rayo de luz incide sobre la partícula exterior la energía que el rayo transporta excita a la molécula, al volver a su estado basal pueda transmitir esta energía a la molécula siguiente, repitiéndose para las interiores. De acuerdo con esto, se produce evidentemente un retraso en el avance de la luz, de ahí que su velocidad de propagación sea menor en los materiales que en el vacío. La relación que se establece entre la velocidad de la luz (c) de una determinada longitud de onda en el vacío, y la velocidad (v) en un medio se denomina índice de refracción (n) y está dada por: $n = c / v$, y que es propio para cada longitud de onda en un determinado medio.

TABLA

Índices de refracción

Sustancia	Índice de refracción	Sustancia	Índice de refracción
<i>Sólidos a 20°C</i>		<i>Líquidos a 20°C</i>	
Circonio cúbico	2.20	Benceno	1.501
Diamante (C)	2.419	Disulfuro de carbono	1.628
Fluorita (CaF ₂)	1.434	Tetracloruro de carbono	1.461
Cuarzo fundido (SiO ₂)	1.458	Alcohol etílico	1.361
Fosfato de galio	3.50	Glicerina	1.473
Vidrio, sin plomo	1.52	Agua	1.333
Vidrio, con plomo	1.66		
Hielo (H ₂ O)	1.309	<i>Gases a 0°C, 1 atm</i>	
Poliestireno	1.49	Aire	1.000 293
Cloruro de sodio (NaCl)	1.544	Dióxido de carbono	1.000 45

Nota: Todos los valores son para luz cuya longitud de onda sea de 589 nm en el vacío.

Además, podemos relacionar la expresión anterior con los ángulos de incidencia y refracción (θ), en dos medios 1 y 2 cualquiera, mediante la **LEY DE SNELL**: $n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$. Esta expresión nos indica del grado de desviación del rayo refractado, de modo que, **a menor índice de refracción mayor es el ángulo de refracción**. Una expresión especialmente útil y concreta resulta de relacionar los ángulos asociados a la refracción con la rapidez de la luz en los medios involucrados:

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2 \quad \text{como } n = \frac{c}{v}$$

$$\frac{c}{v_1} \cdot \text{sen}\theta_1 = \frac{c}{v_2} \cdot \text{sen}\theta_2$$

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{v_1} = \frac{\text{sen}\theta_2}{v_2}$$

Como θ va de 0° a 90° , entonces el seno va de 0 a 1, por lo tanto, de la expresión se puede deducir que, **a mayor rapidez, o sea menor índice de refracción de la luz en un medio, el ángulo de refracción es mayor, es decir, se aleja más de la normal**.

EJERCICIO RESUELTO: un rayo de luz, de 589 nm de longitud de onda, que viaja a través de aire ($n = 1,00$), incide sobre una lámina plana y uniforme de vidrio sin plomo ($n = 1,52$) con un ángulo de 30° con la normal. Encuentre: a) el ángulo de refracción; b) la rapidez de esta luz una vez que entra al vidrio; c) ¿Cuál es la longitud de onda de esta luz en el vidrio?

$$\lambda_1 = 589 \text{ nm}$$

$$\theta_1 = 30^\circ$$

$$n_1 = 1,00$$

$$n_2 = 1,52$$

$$\lambda_2 = ?$$

$$\theta_2 = ?$$

$$n_2 = ?$$

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2 \Rightarrow \text{sen}\theta_2 = \frac{n_1 \cdot \text{sen}\theta_1}{n_2}$$

$$\therefore \text{sen}^{-1}(\text{sen}\theta_2) = \text{sen}^{-1}\left(\frac{n_1 \cdot \text{sen}\theta_1}{n_2}\right)$$

$$\therefore \theta_2 = \text{sen}^{-1}\left(\frac{1,00 \cdot \text{sen}30^\circ}{1,52}\right) \Rightarrow \boxed{\theta_2 = 19,2^\circ}$$

$$n_2 = \frac{c}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1,52} \Rightarrow \boxed{v_2 = 1,97 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow nv = c \Rightarrow n_1 v_1 = n_2 v_2$$

$$\therefore n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{n_1 \lambda_1}{n_2}$$

$$\therefore \lambda_2 = \frac{1,00 \times 589 \text{ nm}}{1,52} = \boxed{\lambda_2 = 387,5 \text{ nm}}$$

Nótese que al vidrio ingresa un rayo de color amarillo-naranja, pero dentro de él es de color violeta.

No obstante, no todas las longitudes de onda se transmiten por medio de un determinado medio transparente. Por ejemplo, el vidrio permite solo el paso de la luz, no así de los rayos UV ni los IR. Esto se debe a que la energía de ambas emisiones, producen transiciones de distinta naturaleza en las moléculas del medio. La energía de los IR, utilizada por la molécula completa para incrementar su energía de vibración, de este modo el medio ocupa esta energía como calor. Otro ejemplo se da cuando los rayos UV no son transmitidos por la atmósfera puesto que son absorbidos por las moléculas de ozono (O_3), que las utilizan para ciertas transiciones que posteriormente inducen a reacciones químicas que participan en el ciclo del ozono.

1. Formación de Imágenes por Refracción

El fenómeno de refracción es utilizado ampliamente en los sistemas ópticos como por ejemplo lentes, lupas, microscopios, telescopios, etc., los cuales son sistemas compuestos por medios ópticos, que permiten dirigir a los rayos de luz hacia puntos definidos.

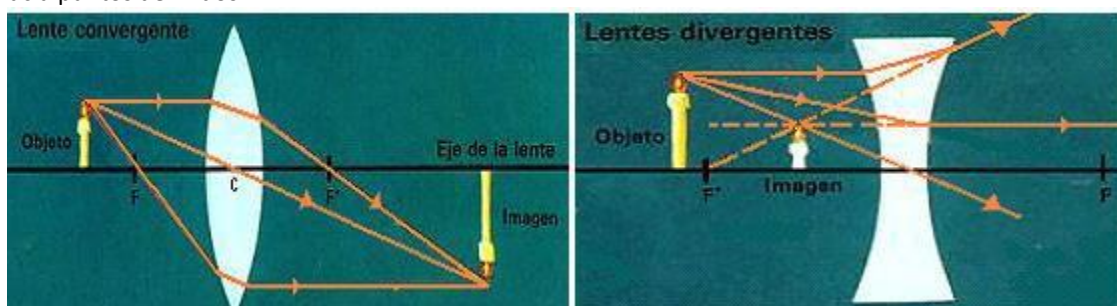


Figura: Tipos de lentes.

Las lentes formadas por dos superficies convexas se denominan biconvexas o convergentes, y aquellas que poseen dos superficies cóncavas, se llaman bicóncavas o divergentes. Para ubicar la imagen se procede del mismo modo que para los espejos. Primero se deben determinar los centros y focos de cada superficie y el centro de la lente y luego se definen tres rayos emanados de un punto del objeto:

- **RAYO PARALELO:** Emerge paralelo al eje principal, se refracta y pasa él o su proyección por uno de los focos.
- **RAYO FOCAL:** Emerge en dirección del otro foco y se refracta paralelo al eje principal.
- **RAYO CENTRAL:** Emerge en dirección del centro, por donde pasa sin refractarse.

Donde se intersectan los tres rayos o sus proyecciones, se forma la imagen del punto. La clasificación de la imagen sigue los mismos criterios asignados para los espejos.

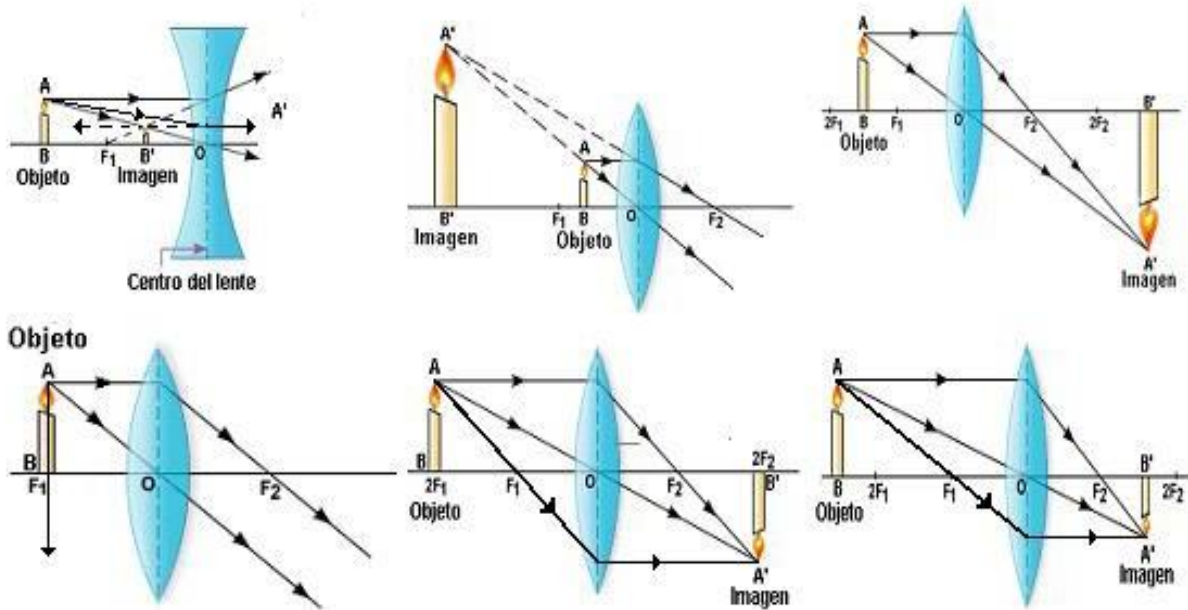
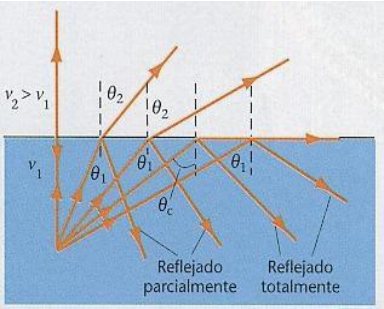


Figura: Tipos de imágenes por refracción.

2. Reflexión interna total

Cuando un rayo incide sobre una superficie transparente, cierta cantidad de su energía se transmitirá. Si gradualmente disminuimos el ángulo de incidencia, gradualmente la luz transmitida disminuirá en su intensidad, es decir, en su energía. Por el contrario, la luz reflejada aumentará hasta un punto en el cual toda la luz incidente sea reflejada. A este ángulo de incidencia se le denomina ángulo crítico y al fenómeno reflexión interna total. Este fenómeno es el aprovechado en los sistemas ópticos, debido a que en él se refleja el 100% de la luz, en cambio los espejos solo reflejan entre un 90 y 95% de la luz incidente.



La reflexión interna total hace posible que se “conduzca” la luz mediante reflexiones sucesivas desde una pared de una varilla de vidrio, como se muestra en la figura. Al utilizar un conjunto de fibras de vidrio muy delgadas en lugar de una sola varilla, se puede transferir una imagen desde un extremo al otro, donde cada fibra lleva una parte de la imagen. Puesto que un conjunto de fibras es muy flexible, puede utilizarse para fines como la exploración interna del estómago de una persona, llevando la fibra desde la boca. Algunas fibras proporcionan la luz para iluminación, y las demás llevan la luz reflejada nuevamente hacia el exterior para poder observar. Actualmente se están ocupando ampliamente en los sistemas telefónicos, donde reemplazan a los alambres de cobre para enviar la información y comunicación.

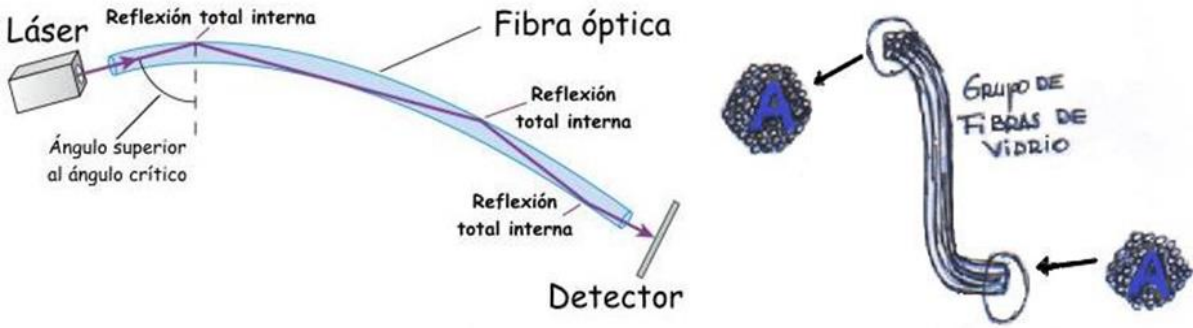


Figura: Propagación de información a través de una fibra óptica.

3. Colores

Es evidente en este punto como procede la absorción de la luz incluso a nivel molecular. Cuando un rayo incide sobre una superficie, parte de la luz se reflejará o transmitirá dependiendo si la superficie es opaca o transparente; la cantidad de energía restante quedará en la superficie en forma de calor, debido básicamente al tipo de transiciones que pudiera la luz incidente provocar en las partículas exteriores de la superficie. Para ilustrar esto explicaremos como se generan los colores en los cuerpos.

Los colores pueden ser “producidos” por reflexión en cuerpos opacos o por transmisión en cuerpos transparentes. Cuando incide un rayo de luz blanca en un cuerpo opaco, este absorberá como calor todos aquellos colores que no generen ningún tipo de transición en sus moléculas, aquella luz cuya energía si las provoque será reflejada, y por tanto será ese el color con que nosotros la percibiremos. Por ejemplo, un cuerpo que se ve azul es debido a que este absorbe todos los colores excepto el azul que lo refleja, debido a que la energía de esta luz provoca transiciones que luego son reemitidas como un fotón de luz azul. Asimismo, un cuerpo transparente tendrá un color específico debido a que es capaz de absorber todos los colores, excepto a aquel que transmite y que es en definitiva con el color que lo percibimos. La luz que no es capaz de reflejarse o transmitirse en un cuerpo, es absorbida, y esto se debe al tipo de efecto, ya explicados, que provoque en las partículas constituyentes del medio.

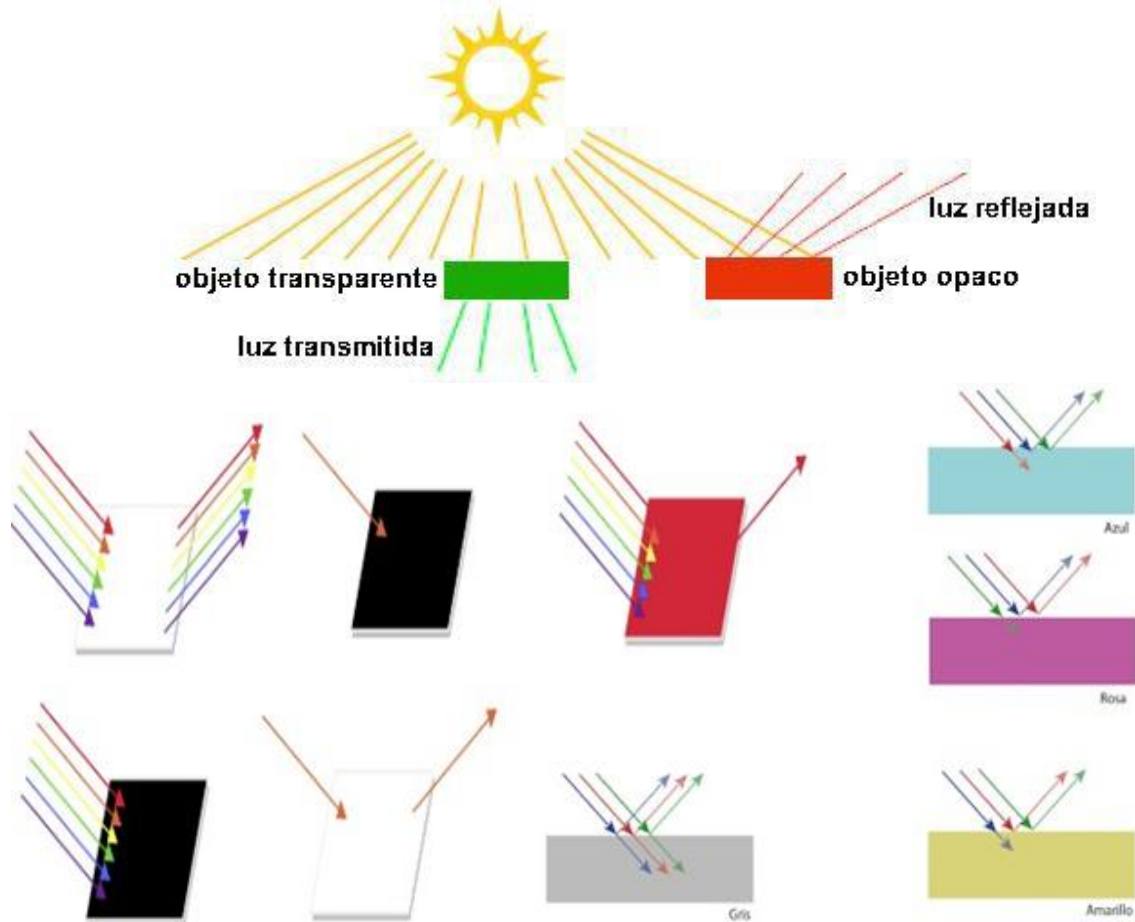


Figura: Colores por reflexión y transmisión.

III. DIFRACCIÓN E INTERFERENCIA

Cuando un rayo de luz ilumina el borde de un cuerpo, este se difracta en mayor o menor grado dependiendo del tamaño de este, respecto de la longitud de onda de la luz. Recordemos que mientras más pequeño sea el cuerpo o más larga la longitud de onda la estrecha como en la figura este se abrirá como en abanico, debido a que la luz se desviará en los bordes, generando zonas de umbra u oscuridad total y penumbra que se una zona en la cual la oscuridad es parcial. Es de este modo como explicamos los bordes borrosos de toda sombra.

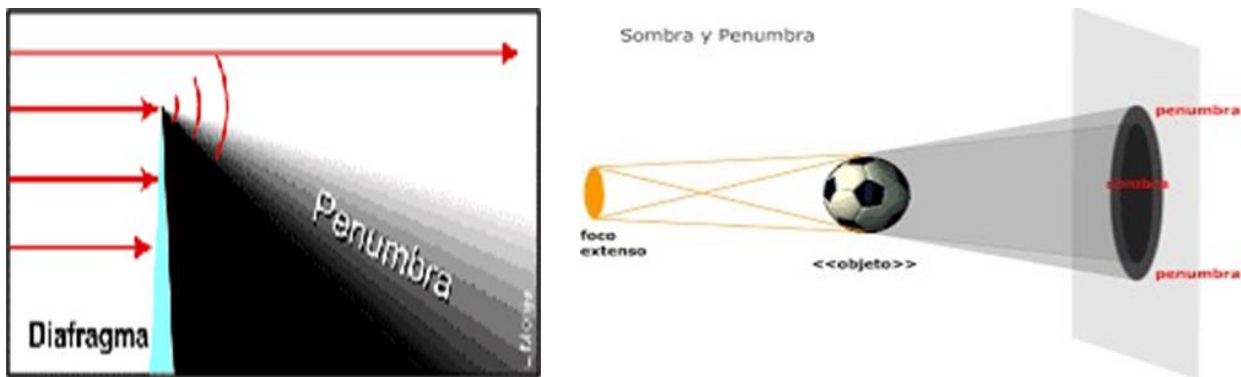


Figura: Formación de la penumbra, debido a la difracción de la luz.

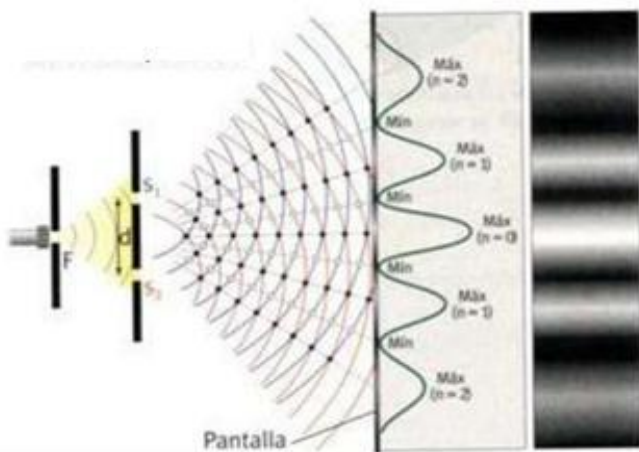


Figura: Patrones de interferencia por una rendija.

T. Young produjo al hacer pasar luz monocromática, es decir de un solo color, por un sistema compuesto por dos rendijas estrechas y próximas entre sí, un patrón consistente en franjas alternadas de luz y sombras, que solo podían ser explicados utilizando complementariamente los conceptos de difracción e interferencia propios de las ondas. En la figura se ven los patrones producidos en la pantalla estos fueron interpretados del siguiente modo: la luz al pasar por cada ranura se difracta y se abre en abanico al rodear los bordes, pero de no haber interferencia no es esperable el patrón de luz y sombra alternadas esto se debía según Young a que en las zonas de luz las ondas difractadas interferían constructivamente al encontrarse en fase, por el contrario las zonas de sombra correspondían a interferencia destructiva, pues las ondas en estos se encontraban desfasadas.

Cada vez que vemos aceite sobre el asfalto notamos unos complicados patrones de colores muy intensos alternados con zonas oscuras. Para comprender el origen de estos patrones, consideremos lo que ocurre cuando luz de un solo color incide sobre una película de aceite. Como puede verse en la figura parte de la luz se refleja y parte pasa a la película donde se refleja en su cara inferior. Dependiendo del grosor de la película los rayos pueden salir en fase, por tanto, interferirán constructivamente y se producirá luz de mayor intensidad, por el contrario, si salen en desfase las ondas se anularán y esa región se verá negra. Cuando la luz incidente es blanca, las ondas reflejadas de un solo color estarán en fase en un lugar específico mientras que las ondas de los demás colores no lo estarán, además que las películas no tienen en todos sus puntos el mismo grosor. Como resultado se obtienen una serie de colores brillantes.

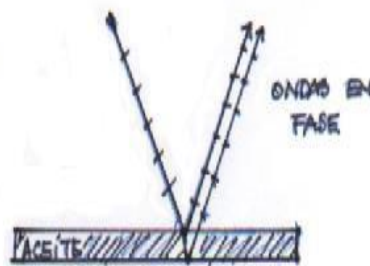
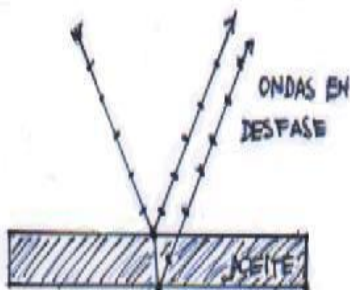


Figura: Interferencia de luz en capas delgadas.

IV. FENÓMENOS ÓPTICOS

Utilizando los distintos fenómenos que sufre la luz daremos una interpretación razonable a distintos e importantes efectos visuales producidos en la naturaleza o diario vivir.

a. Efecto Doppler

Todos sabemos que los sonidos producidos por los vehículos que se mueven hacia nosotros parecen tener un tono más alto de lo normal, mientras los sonidos producidos por los vehículos que se alejan parecen tener un tono más bajo de lo normal. Este fenómeno, que surge del movimiento relativo del receptor y de la fuente de la fuente se denomina **Efecto Doppler**.

En el Efecto Doppler se pueden estar moviendo cualquiera de los dos o ambos al mismo tiempo. Cuando el movimiento disminuye la distancia a la cual están separados, como en B, la longitud de onda aparente disminuye y aumenta la frecuencia. Cuando el movimiento se aleja entre sí al escucha y a la fuente, como en A, la longitud de onda aparente aumenta y disminuye su frecuencia. Una manera sencilla de visualizar el efecto Doppler es imaginar que viajamos en un bote en un día de viento. En la medida que lo hacemos en contra de la dirección del viento, las olas chocan con el bote con mayor frecuencia que si estuviéramos en reposo. Por otra parte, si lo hacemos a favor del viento, las olas llegan más lentamente que si el bote estuviera en reposo y su frecuencia aparente es menor.

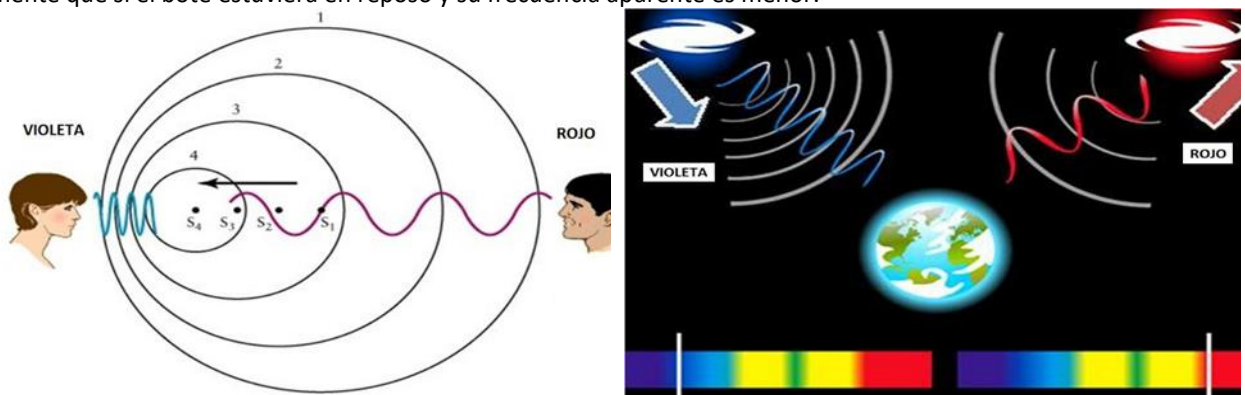


Figura: Efecto Doppler en la luz.

Ahora analizaremos cómo afecta el Efecto Doppler a la luz (figura). Como la frecuencia de emisión aumenta cuando una fuente se acerca, entonces su longitud de onda disminuye, de modo que dicha fuente tiende a verse de un color más cercano al violeta en comparación a su estado de reposo. Por el contrario, si la fuente se aleja la frecuencia disminuye y su longitud de onda aumenta, y por tanto tiende a verse más rojo que si estuviera quieto. Este fenómeno ha sido relevante para determinar que las **GALAXIAS SE ALEJAN** y que el **UNIVERSO SE EXPANDE**, ya que la observación minuciosa de las estrellas, muestran que sus colores presentan un **CORRIMIENTO HACIA EL ROJO**. Este aspecto ha sido fundamental para validar la **TEORÍA DEL BIG BANG**.

b. Origen del arco iris y porqué el cielo es azul

Para entender ambos fenómenos primero debemos considerar la dispersión de la luz que ocurre cuando la luz blanca pasa por un prisma de vidrio el color que menos se desvía es el rojo y el de mayor dispersión es el violeta.

Nuestro cielo presenta una tonalidad azul gran parte del día y hacia el atardecer presenta una coloración de amarillo a rojo intenso, para describir este fenómeno nuevamente recurrimos a la dispersión de la luz del Sol al refractarse cuando entra en la atmósfera, la que está compuesta de moléculas y partículas de polvo. Al igual que en el prisma la luz que más se dispersa es el violeta, luego el azul y el que menos se desvía es el rojo. En las figuras se muestra que el azul nos llega por dispersión cuando el Sol “está arriba” en el cielo.

Cuando baja al atardecer la luz nos llega directamente, de modo que se ve rojo, pasando por el amarillo y el naranja, y por esto vemos al Sol amarillo y no blanco. Entonces, si de acuerdo con la altura del Sol en el cielo y al grado de dispersión de los distintos colores, ¿por qué en algún momento del día vemos el cielo verde o violeta? Esto se debe a que la energía de algunos colores, son ocupados por las partículas de la atmósfera. Por ejemplo, el violeta y los UV, por tener energías similares son filtrados por el ozono que la ocupa para reaccionar químicamente, al igual como la gasolina necesita energía para combustionar.

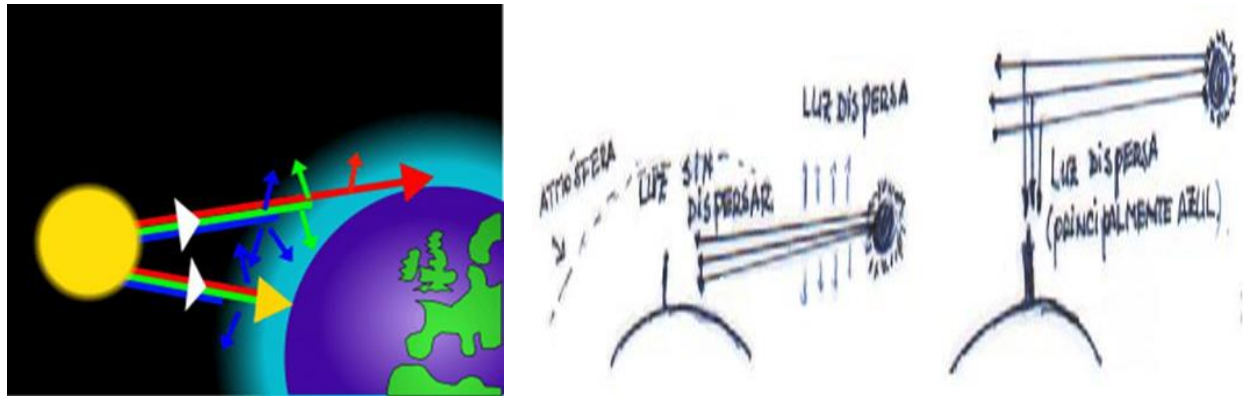
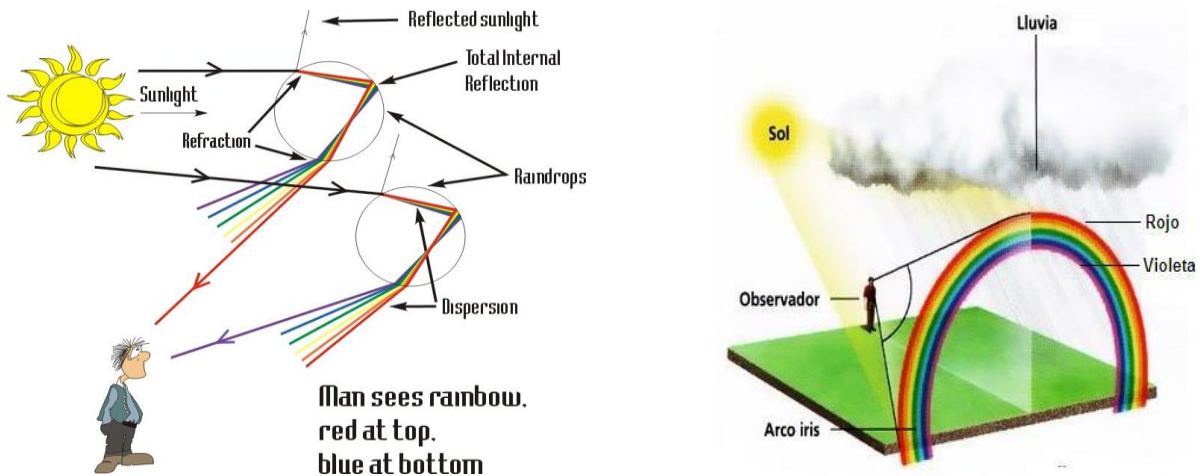


Figura: Descripción del color azul del cielo.

Es bien sabido que los arco iris se forman cuando “sale el sol” en un día de lluvia. La dispersión de la luz del Sol (que es blanca), que ocurre dentro de las gotas de agua es lo que origina el arco iris que se ve cuando nos ponemos al frente de la lluvia que cae, teniendo al Sol a nuestra espalda. Cuando un rayo de luz entra en una gota de agua, como en la figura, primero se refracta y luego se refleja en la parte posterior de la gota de agua, y finalmente se refracta nuevamente cuando vuelve a salir. La dispersión ocurre en cada refracción. Cuando el cielo está lleno de gotas de agua, el resultado es un arco coloreado que tiene luz roja en la parte superior y la luz violeta en la inferior, es decir de modo inverso al orden de dispersión de los colores. Alguien que viaje en un avión puede ver todo el anillo de color, pero desde el suelo sólo se ve la parte superior del anillo, debido a que el suelo se interpone. Otros aspectos que destacar resulta del hecho que en el punto donde la luz escapa de la gota se produce una segunda reflexión que provoca que una cantidad pequeña de luz escape por otro punto de la gota y si sumamos el efecto que produce cada gota en suspensión, se debe generar un segundo arco iris. En efecto, ya que la luz del segundo arco iris es débil, sólo en zonas lluviosas, con aires limpios es posible apreciarlo. Puesto que la luz que sale por la parte posterior de cada gota es mínima, detrás del arco iris se forma una zona de baja luminosidad llamada antisol.



Man sees rainbow.
red at top.
blue at bottom

Figura: Formación de un arcoíris.

V. RECEPCIÓN DE LA LUZ

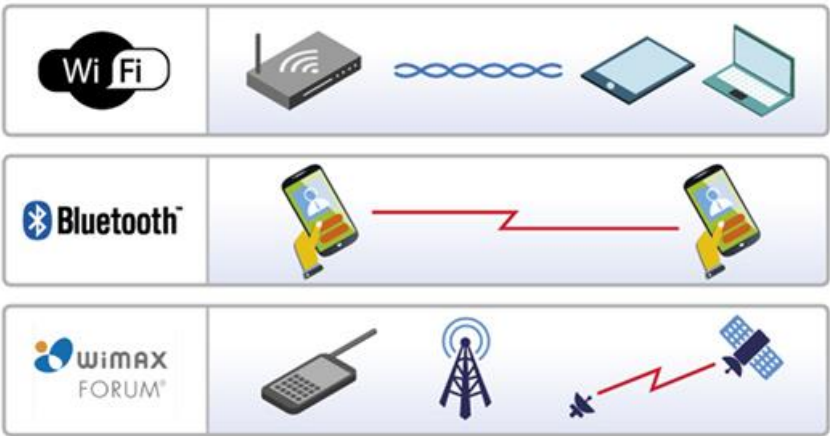
Los rayos de luz provenientes de un objeto, al ingresar al ojo, sufre algunas desviaciones producidas por las distintas estructuras internas del ojo, a saber: los rayos cuando atraviesan la córnea, que es una membrana delgada que recubre el ojo y genera su cavidad ovalada, sufren una pequeña refracción. Detrás de la córnea hay un líquido llamado humor acuoso en el cual los rayos sufren una segunda refracción. Luego la luz entra en la pupila que, junto con el iris, que está compuesto de fibras musculares, regulan el paso de la cantidad de luz que entra al ojo.

Detrás de estas estructuras se encuentra el cristalino, que posee una estructura de lente biconvexa (cuya curvatura cambia por acción de los músculos ciliares que lo rodean), y que por refracción orienta a los rayos hacia la retina, posterior al cristalino se encuentra una sustancia gelatinosa llamada humos vítreo que ocupa la parte interna del globo ocular, aquí la luz vuelve a refractarse. Por último, en la superficie posterior interna del ojo se encuentra la retina, que actúa como pantalla, en donde la imagen que se forma es de menor tamaño y está invertida respecto del objeto. En la retina se encuentran las células receptoras de la luz, llamadas conos y bastones, los que transforman los estímulos luminosos en impulsos eléctricos que viajan por el nervio óptico, llegando al cerebro donde son interpretados, generando las sensaciones de forma, color y textura.

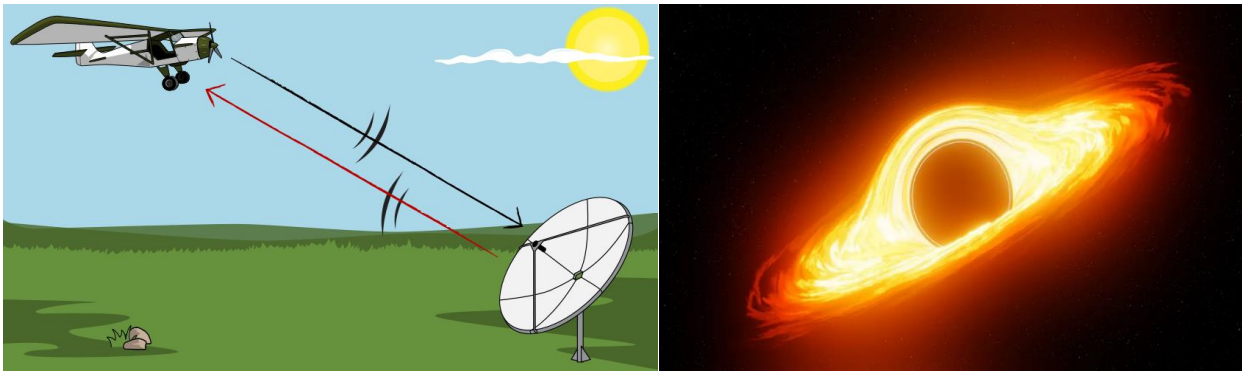


VI. DISPOSITIVOS TECNOLÓGICOS

Las propiedades de las ondas EM, o sea la luz, es aprovechada por múltiples aparatos tecnológicos, entre ellos la comunicación inalámbrica en la radiocomunicación: televisores, radios, celulares utilizan antenas que reciben y reemiten señales en radio. Además, se pueden comunicar entre ellos usando señales de microondas.



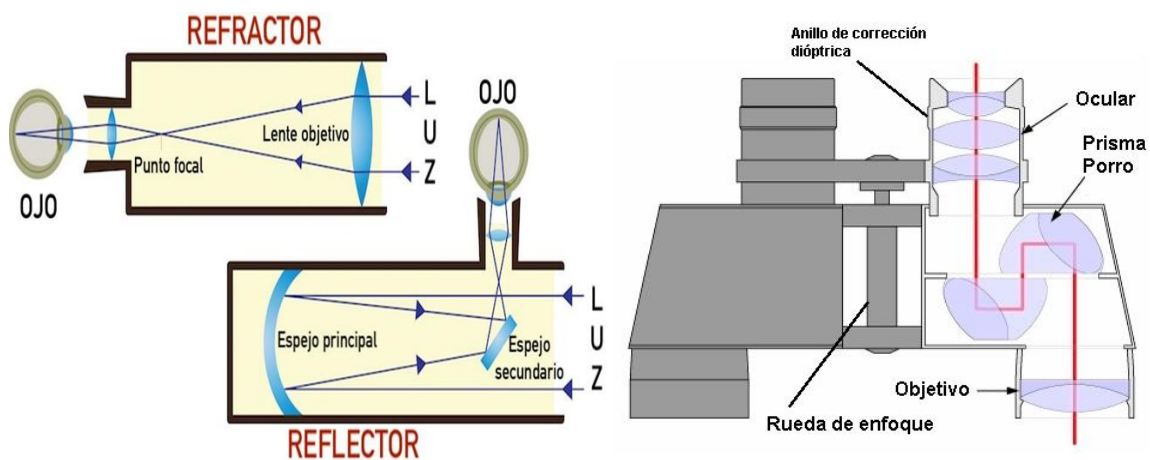
Otros dispositivos que utilizan las ondas de radio son los radares y los radiotelescopios. En el caso del primero, utilizan la reflexión de las señales emitidas por una central o antena, para determinar la ubicación de un objeto, en el segundo captan las señales de baja energía que nos llegan desde el espacio profundo.



Los rayos láser (light amplification by stimulated emission of radiation, «amplificación de luz mediante la emisión inducida de radiación») es un dispositivo que utiliza la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente (en fase) y monocromática.

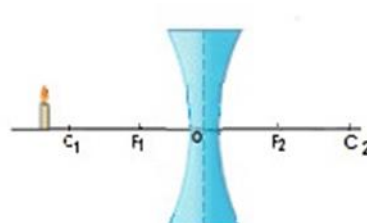
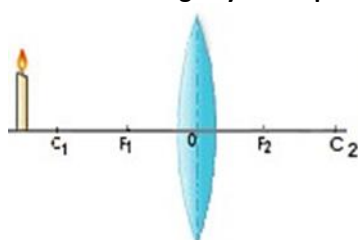


Telescopios, prismáticos y microscopios utilizan lentes y espejos para aumentar (magnificar) la imagen de un objeto para lograr ver lo que nuestros ojos no pueden. Los telescopios pueden ser reflectores (con espejos), refractores (con lentes), o una combinación de ellos (llamados catadióptricos)



VII. PREGUNTAS Y PROBLEMAS

- Defina:
 - Lente convergente.
 - Lente divergente.
 - Lentes esféricas
 - índice de refracción.
 - Ley de Snell.
 - Reflexión interna total.
- Refiérase brevemente a la transmisión de la luz en cuerpo transparente.
- La velocidad de propagación de la luz en la glicerina es $2,04 \times 10^8$ m/s. Determine su índice de refracción.
- El vidrio tiene un n de 1,5. Calcule la velocidad que tiene la luz en ese medio.
- Un rayo de luz que proviene desde el exterior incide con una inclinación de 25° sobre el vidrio de una ventana de una casa. Dibuje la trayectoria del rayo. Justifíquela mediante cálculos.
- ¿Cuándo un cuerpo absorbe luz, y qué ocurre con esta energía?
- Señale por qué la velocidad de la luz en un medio es menor que en el vacío.
- En cada caso, determine la imagen y clasifíquela.



9. ¿Qué es la reflexión interna total?
10. Explique cómo se generan los colores por reflexión y transmisión.
11. Refiérase brevemente a la mezcla de colores y cómo puede explicarse.
12. ¿Cómo afecta a la luz los fenómenos de difracción e interferencia?
13. Haga un breve resumen de cada uno de los fenómenos ópticos analizados en la unidad.
14. ¿Cómo funciona nuestro ojo para formar la imagen en la retina?

15. Una onda electromagnética de 4×10^{11} Hz se propaga a través de un medio M cuyo índice de refracción es 1,5. Si se considera que la rapidez de la luz en el vacío es 3×10^8 m/s, ¿cuál es la longitud de onda de la onda electromagnética en el medio M?

- A) $1,25 \times 10^{-5}$ m
- B) $5,0 \times 10^{-4}$ m
- C) $7,5 \times 10^{-1}$ m
- D) $1,3 \times 10^3$ m
- E) $2,0 \times 10^3$ m

16. Un haz de luz monocromática pasa de un medio a otro. Conociendo la rapidez de la luz en el vacío, ¿cuál de las siguientes opciones es suficiente para determinar la rapidez de este haz en el segundo medio?

- A) El valor de la frecuencia del haz de luz
- B) El índice de refracción del segundo medio
- C) El ángulo con que incide el haz de luz en la interfaz
- D) El valor del período del haz de luz en el segundo medio
- E) El valor de la longitud de onda del haz de luz en el primer medio

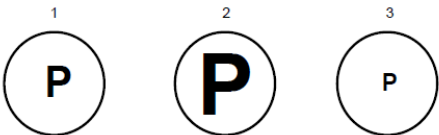
17. Una onda recorre 24 m en 2 s en cierto medio. Si su frecuencia es 3 Hz, ¿cuál es su longitud de onda?

- A) 4 m
- B) 8 m
- C) 12 m
- D) 36 m
- E) 72 m

18. Un estudiante está investigando acerca de las ondas superficiales que se propagan en el agua contenida en una cubeta rectangular de fondo plano, cuyas dimensiones ha medido previamente. Para ello, deja caer varias gotas de agua en un extremo de la cubeta y mide el tiempo que tardan en llegar las ondas generadas al otro extremo de la cubeta. Repite el experimento variando la cantidad de agua en la cubeta y midiendo la profundidad del agua en cada caso. ¿Cuál de las siguientes opciones corresponde a una hipótesis consistente con el procedimiento experimental descrito?

- A) El tiempo que tardan las ondas superficiales en recorrer cierta distancia es proporcional al número de gotas que las producen.
- B) El tipo de movimiento que describen las ondas superficiales en el agua depende del tamaño de las gotas.
- C) La rapidez de las ondas superficiales depende de la profundidad del agua en que se propagan.
- D) La cantidad de ondas superficiales depende de la profundidad del agua en que se propagan.
- E) La rapidez de las ondas superficiales depende de la frecuencia con que caen las gotas.

19. Se dispone de tres instrumentos ópticos: una lente convergente, una lente divergente y un trozo de vidrio plano. Con cada uno de ellos, desde la misma distancia, se observa la misma letra, en la misma posición, y se aprecia sucesivamente lo siguiente.



Al respecto, ¿cuáles son los instrumentos ópticos empleados en los casos 1, 2 y 3?

	1	2	3
A)	Vidrio plano	Lente convergente	Lente divergente
B)	Lente convergente	Lente divergente	Vidrio plano
C)	Lente divergente	Vidrio plano	Lente convergente
D)	Lente divergente	Lente convergente	Vidrio plano
E)	Lente convergente	Vidrio plano	Lente divergente

20. “En la óptica geométrica, un rayo de luz es una línea recta e imaginaria que representa la dirección de propagación de la luz, mientras que en la teoría corpuscular de la luz, representa la trayectoria de los fotones, aunque carece de significado físico en la mecánica cuántica.” Basándose en el texto, es correcto afirmar que el rayo de luz corresponde a

- A) un principio que se aplica en todas las áreas de la Física.
- B) una ley que muestra cómo la luz se propaga.
- C) una descripción de la naturaleza de la luz.
- D) una teoría que se aplica en la óptica.
- E) un modelo que tiene validez limitada.

21. Un haz luminoso se refracta desde un medio P a un medio Q con un ángulo distinto a 90° respecto a la interfaz, aumentando su longitud de onda en comparación a la que tenía en el medio P. ¿Cuál de las siguientes situaciones es compatible con lo descrito?

	Rapidez del haz en el medio Q respecto al medio P	Angulo de refracción del haz respecto al ángulo de incidencia
A)	Igual	Mayor
B)	Aumenta	Mayor
C)	Disminuye	Menor
D)	Aumenta	Igual
E)	Disminuye	Igual

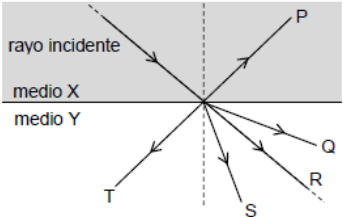
22. Un haz de luz se propaga desde el aceite al agua. Si no se tiene información respecto de los índices de refracción de estos medios, entonces solo se puede afirmar correctamente que, al pasar del aceite al agua, el haz de luz

- A) varía su longitud de onda y aumenta su rapidez de propagación.
- B) varía su frecuencia y su longitud de onda.
- C) mantiene su rapidez de propagación.
- D) mantiene su longitud de onda.
- E) mantiene su frecuencia.

23. Una onda de 50 Hz se propaga con una rapidez de 500 m/s. Esta onda pasa a un segundo medio, en donde se determina que su longitud de onda es 20 m. ¿Cuál es la rapidez de propagación de la onda en el segundo medio?

- A) 2,5 m/s
- B) 10,0 m/s
- C) 25,0 m/s
- D) 500,0 m/s
- E) 1000,0 m/s

24. La figura representa un rayo de luz monocromática que incide sobre la interfase entre un medio X de índice de refracción $n_x = 2$ y un medio Y de índice $n_y = 1$.



¿Cuál de las siguientes opciones representa mejor el camino óptico del rayo refractado después de incidir sobre la interfase?

- A) P
- B) S
- C) R
- D) Q