

TEMA 5: ÓPTICA

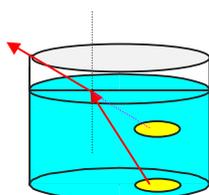
I. ORIENTACIONES METODOLÓGICAS

Se ha evitado en lo posible las frases como: “*rayo incidente que choca*” y “*lanzaremos dos rayos*” para no reforzar la idea de rayo como algo material.

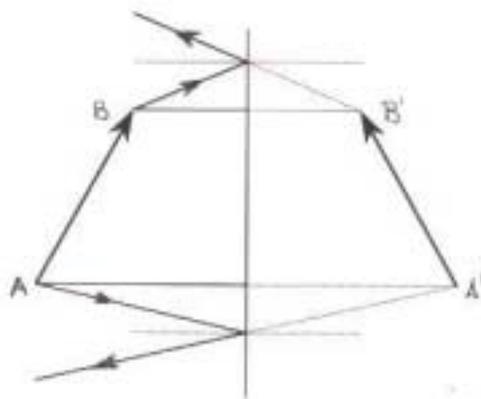
En muchos textos aparece definida la refracción de la siguiente forma: refracción de la luz es el cambio de velocidad y dirección que experimenta un rayo luminoso. Queremos hacer hincapié en el hecho de que puede haber refracción sin cambio de dirección (incidencia perpendicular). En el caso de la reflexión ocurre lo mismo, en muchos textos aparece la frase: “Reflexión de la luz, es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso”.

Evitar siempre la frase: “la luz blanca se descompone en los siete colores del arco iris”, ya que el espectro visible es un espectro continuo, y por lo tanto tendremos infinitos colores.

Para representar la imagen de un objeto dado es necesario dibujar dos rayos de cada punto y un ojo al que le lleguen los rayos y no como aparecen en la figura.



La moneda se ve más cerca de la superficie.



Sin ojo y un solo rayo

Tener en cuenta que el astigmatismo se debe a deformaciones de la córnea y no del cristalino como aparecen en muchos textos.

II. COMPROBACIÓN DE CONOCIMIENTOS PREVIOS

b) Conocimientos procedentes de las construcciones espontáneas:

Se señalan las preconcepciones descritas en la bibliografía y se presenta la solución de los ítems que aparecen en el libro y otros ítems diferentes de los que se dispone de resultados obtenidos en nuestras investigaciones.

1.- Solución a los ítems sobre preconcepciones que aparecen en el libro.

Unidad 6: Naturaleza de la luz:

La opción correcta es la **d**

Unidad 7: Óptica geométrica:

La opción correcta es la **a**

Unidad 8: Instrumentos ópticos. Aplicaciones.

Ítem 1: La solución correcta es la **b**

Ítem 2: La solución correcta es la **c**

Ítem 3: La solución correcta es la **b**

2.- Otros ítems diferentes de los que se dispone de resultados obtenidos en nuestras investigaciones.

En el caso de la óptica, las preconcepciones han sido descritas en la bibliografía, por diferentes autores referidas a la emisión y propagación de la luz (Tiberghien, A. 1980; Krapas, S.1985; Watts, D.M.1985), el color (Anderson,B. y col. 1983, Suero y col. 1994,1997), espejos y leyes de la reflexión (Goldberg,F.M. y col 1983; La Rosa y col. 1984), y la visión (Guesne ,E. 1984; Shayer,M. 1984, Suero y col. 1994), entre otros.

Estos trabajos indican que es frecuente:

- Confundir fuente y luz.
- Limitar los alcance de la luz a sus efectos visibles.
- Restringir el mecanismo de la visión a la iluminación del objeto.
- No distinguir reflexión especular de difusa.
- Considerar que las imágenes se proyectan.
- Considerar el color como propiedad del objeto

Se presenta un test destinado a determinar preconcepciones en Óptica, los resultados obtenidos con su aplicación y las conclusiones que estos resultados han permitido deducir.

Antes de llevar a cabo el desarrollo experimental, hemos elaborado diferentes test.

En primer lugar elaboramos un test de conocimientos previos formado por 40 ítems con el que se trató de averiguar los conocimientos de los alumnos en Óptica (materia poco tratada en todo los niveles del sistema educativo).

Posteriormente confeccionamos un test de 15 ítems de cuatro respuestas posibles, cuyo objetivo fue averiguar hasta que punto los alumnos tienen preconcepciones sobre la visión, el color y la propagación rectilínea de la luz. Este test se ha pasado a un colectivo de 100 alumnos, de todos los niveles del sistema educativo. Dado que se observó que cada ítem podía ser contestado con varias opciones erróneas diferentes y que sólo estuviera permitido seleccionar una, podía enmascarar alguna preconcepción, se decidió obtener a partir de éste otro de “cierto-falso” de 60 ítems, que se pasó a 50 alumnos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, hemos elaborado un test de 5 ítems, que se describe a continuación, y que se ha pasado a un total de 6000 alumnos de todos los niveles de enseñanza, tanto en el Sistema Educativo Tradicional como en el Nuevo Sistema Educativo, distribuidos en 20 Centros de la región.

Conclusiones más importantes:

ÍTEM 1)

Objetivo: Se pretende averiguar si los alumnos entienden el concepto de luz.

Texto:

En una habitación oscura se ve una pequeña llama. Pasado un tiempo se ve sólo una brasa. ¿Cuándo hay emisión de luz?

- No hay emisión de luz puesto que la habitación está oscura.
- Sólo mientras que hay una llama.
- Sólo mientras que hay brasa.
- Mientras que hay o bien llama o bien brasa.
-

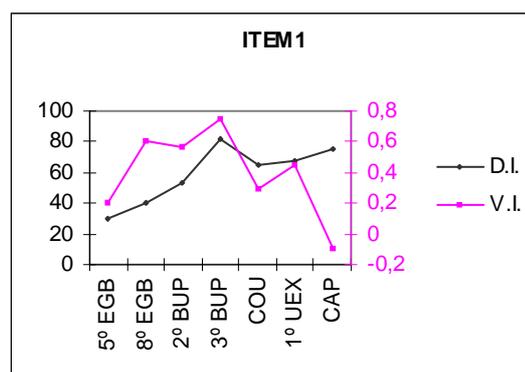
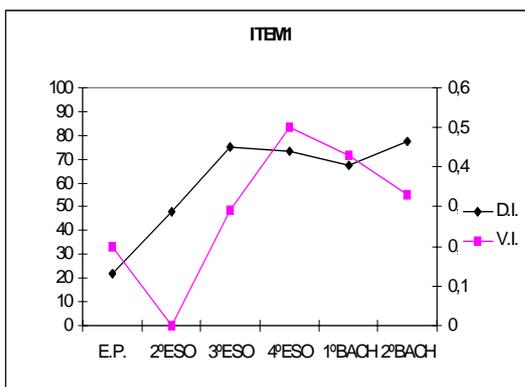
Justifica brevemente tu respuesta.....

Resultado: La respuesta correcta es la **d**

Los alumnos de E.G.B.(de 10 a 14 años) y Bachillerato(de 14 a 17 años), entienden que hay luz mientras exista llama en la vela, pero no cuando queda la brasa.

Aunque este ítem lo aciertan muchos alumnos universitarios y del C.A.P.(licenciados), la mayoría dicen que debe haber llama y brasa para que se emita luz.

Por otra parte, el análisis estadístico de los resultados nos arroja los siguientes datos:



En el Nuevo Sistema Educativo, la evolución de sus índices es normal, si bien llama la atención el pico repentino que presenta el I.D. en 3º de ESO(14 años), y el que presenta el I.V. en 4º de ESO(15 años).

En el Sistema Educativo Tradicional la evolución general del I.D. es ascendente, mientras que el I.V. acusa picos en 8º EGB(13 años), 3º BUP(16 años) y 1º Facultad, para caer por debajo de cero en el CAP(licenciados).

En general se puede hablar de un ítem aceptable, que está ampliamente superado por los estudiantes del CAP(licenciados).

ÍTEM 2)

Objetivo: Se pretende detectar si los alumnos tienen preconcepciones sobre el color.

Texto:

La piel de los chinos se ve amarilla porque:

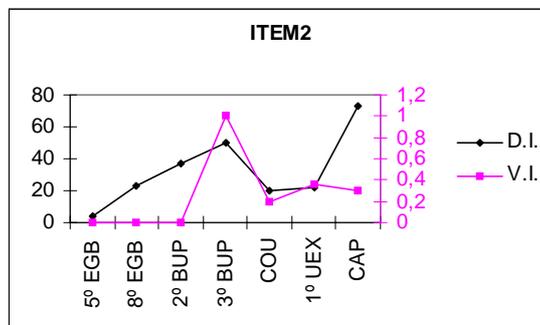
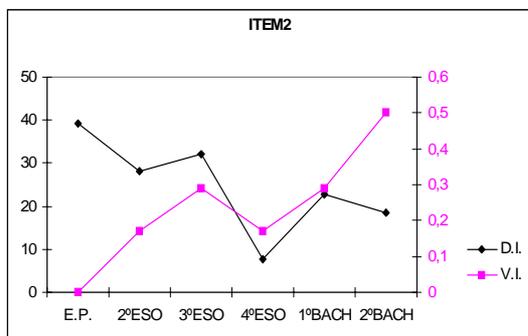
- Posee y emite color amarillo.
- Llena el espacio que lo separa del observador de color amarillo.
- Refleja el color amarillo.
- Absorbe el color amarillo.
-

Justifica brevemente tu respuesta.....

Resultado: La respuesta correcta es la **c**

Los alumnos, en todos los niveles, entienden que el color es una propiedad intrínseca de las cosas, como su masa o su densidad.

Por otra parte, el análisis estadístico de los resultados nos arroja los siguientes datos:



La evolución tan irregular que muestran ambos índices nos induce a pensar que el concepto de color es uno de los más difíciles en ciencia, donde se arraigan con más fuerza ciertas preconcepciones.

ÍTEM 3)

Objetivo: Se pretende analizar la existencia de preconcepciones acerca de la formación de imágenes en espejos.

Texto:

Cuando ves tu imagen en un espejo :

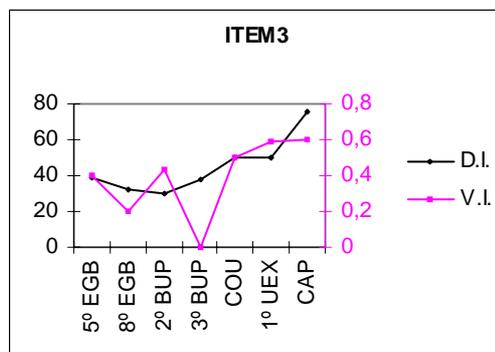
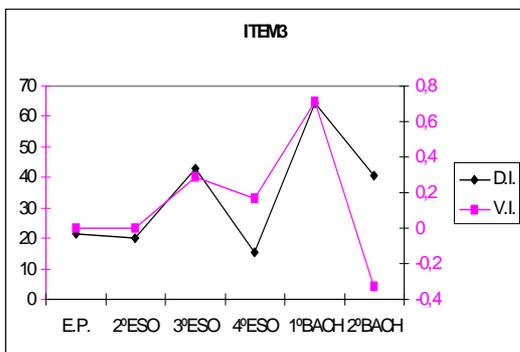
- a) Hay rayos de luz que viajan de ti al espejo y rebotan en él.
- b) Hay rayos de luz que viajan de ti al espejo y se cortan dentro, a la misma distancia de la superficie a la que te encuentras tú.
- c) La luz que llena el espacio que te separa del espejo penetra en el espejo de manera simétrica.
- d) La imagen que ves en el espejo existe detrás de él.
- e)

Justifica brevemente tu respuesta.....

Resultado: La respuesta correcta es la **a**

En todos los niveles hay problema con el concepto de reflexión: Saben que la imagen que da el espejo es simétrica pero no como se forma.

Por otra parte, el análisis estadístico de los resultados nos arroja los siguientes datos:



Las gráficas de ambos ítems muestran un comportamiento similar en los dos sistemas educativos: En general, el I.D. asciende a medida que avanzan los estudios, lo que significa una mejor comprensión de la reflexión y de la formación de imágenes en los espejos. Sin embargo, los dientes de sierra en la evolución de los I.V. nos indica la dificultad que supone hacer un análisis estadístico de las preconcepciones.

ÍTEM 4)

Objetivo: Igual que con el anterior, se pretende analizar la existencia de preconcepciones acerca de la formación de imágenes en espejos.

Texto:

Un espejo:

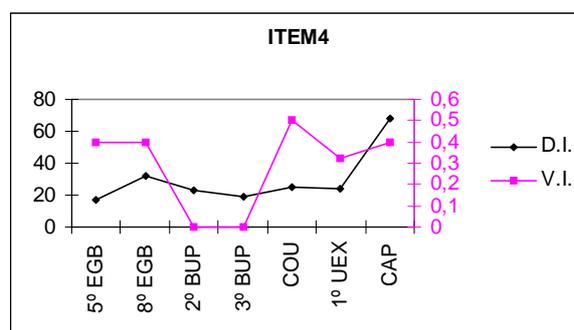
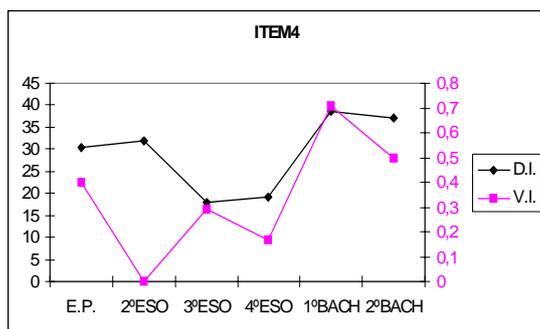
- Refleja la luz, y absorbe las imágenes.
- Refleja la luz simplemente.
- Absorbe la luz y las imágenes.
- Refleja la imágenes, pero absorbe la luz.
-

Justifica brevemente tu respuesta.....

Resultado: La respuesta correcta es la b

Los alumnos de E.G.B.(de 10 a 14 años) y Bachillerato(de 14 a 17) dicen que es necesario que se absorba la luz para ver las imágenes. Los alumnos del C.A.P.(licenciados) y los universitarios piensan, además, que los espejos reflejan la luz y las imágenes.

Por otra parte, el análisis estadístico de los resultados nos arroja los siguientes datos:



Las gráficas de ambos ítems muestran un comportamiento similar en los dos sistemas educativos: En general, el I.D. asciende a medida que avanzan los estudios, lo que significa una mejor comprensión de la reflexión y de la formación de imágenes en los espejos. Sin embargo, los dientes de sierra en la evolución de los I.V. nos indica la dificultad que supone hacer un análisis estadístico de las preconcepciones.

ÍTEM 5)

Objetivo: Igual que con el ítem 2, se pretende detectar si los alumnos tienen preconcepciones sobre el color.

Texto:

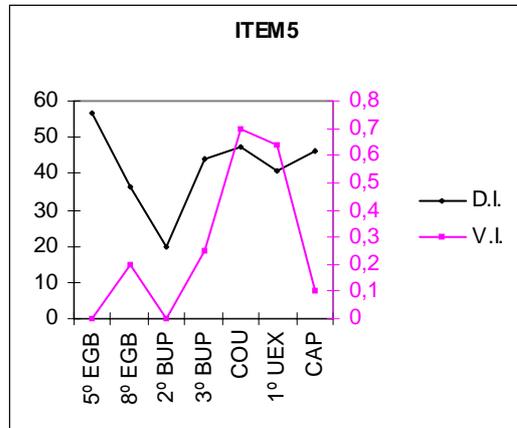
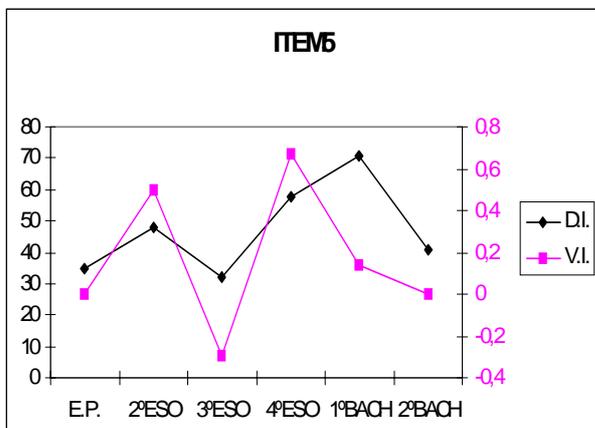
El color con que se ve la pared de una habitación iluminada con una bombilla depende:

- De la luz que llene el espacio entre la pared y el observador.
- De la luz que emita la pared.
- De la luz que refleje la pared (que rebote en ella).
- De la luz que absorba la pared.
-

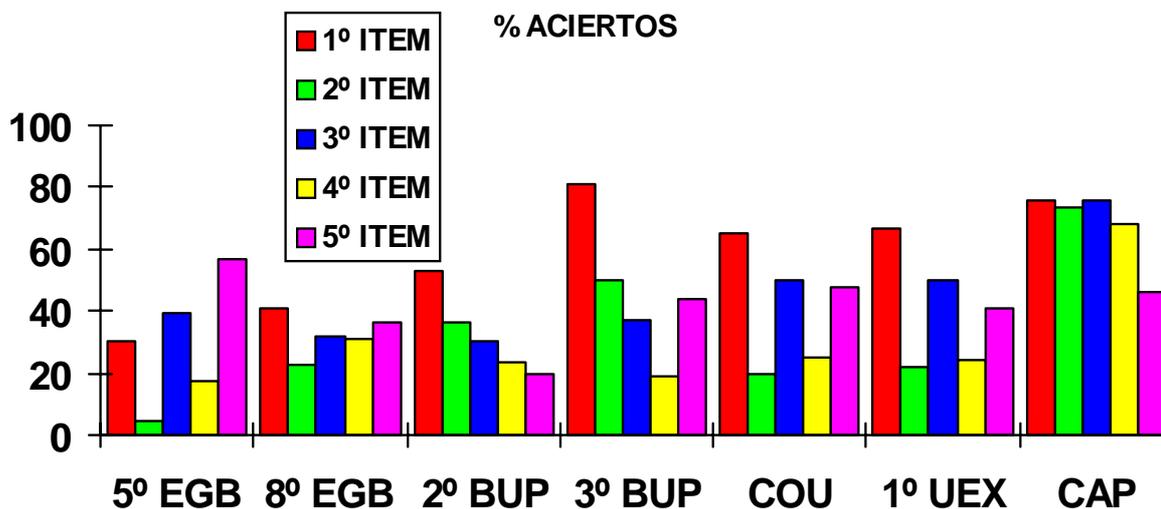
Justifica brevemente tu respuesta.....

Resultado: La respuesta correcta es la c

En todos los niveles entienden el color como propiedad intrínseca de los cuerpos . Además hay muchos individuos que piensan que el color es debido a luz absorbida por los cuerpos. Por otra parte, el análisis estadístico de los resultados nos arroja los siguientes datos:



En la gráfica del Nuevo Sistema de Enseñanza llama la atención que el I.D. en primaria(10 a 14 años) sea muy similar al I.D. en 2º de Bachillerato(17 años). En la gráfica del Sistema de Enseñanza Tradicional sorprende que el I.D. en 5º de EGB(11 años) sea muy superior al del CAP(licenciados). Estos resultados anormales y el comportamiento irregular del I.V. nos hacen pensar en las fuertes preconcepciones que presentan los alumnos a la hora de explicar el color.



BIBLIOGRAFÍA:

ANDERSON,B. y KÄRRQVIST, T. C.; (1983): *How Swedish pupils aged 12-15 years, understand light and its properties*, European Journal of Science Education, 5,(4) 387-402.

GOLDBERG, F.M. y MCDERMOTT, L.C. (1983). *Not all the many answers students give represent misconceptions: examples from interviews on geometrical optics*. Proceedings of the International Seminar on Students' Misconceptions in Science and Mathematics, 335-345. Cornell University: Ithaca.

GUESNE, E. (1984): *Children's ideas about light*. New trends in physics teaching. UNESCO: París. 179-192

KRAPAS, S. (1985): *Estudio de las nociones espontáneas acerca de los fenómenos relativos a la luz en alumnos de 11 a 18 años*. Enseñanza de las Ciencias. Vol. 3(3), pp.237-238.

LA ROSA, C.; MAYER, M.; PATRIZI, P., y VICENTINI-MISSONS, M. (1984): *Commonsense knowledge in optics: preliminary results of an investigation into properties of light*. European Journal of Science Education, 5,(4) pp. 387-397.

SHAYER, M. y ADEY, P.(1984). *La ciencia de enseñar ciencia*. Narcea: Madrid. 118-119.

SUERO, M. I.; PÉREZ, A. L y. MARTIN-DELGADO, M. J.(1994). *Pero...¿De verdad sabemos lo que es el color?* III Congreso Nacional del Color. Granada. 85-86.

SUERO, M. I.; PÉREZ, A. L y. MARTIN-DELGADO, M. J.(1994). *Preconcepciones en Óptica: su persistencia en niveles universitarios*. IV Reunión Nacional de Óptica. Granada. 391-392

SUERO, M. I.; PÉREZ, A. L.; MONTANERO, M. y RUBIO, S.(1997) *Preconcepciones sobre el color: Su persistencia en niveles universitarios*. Actas del IV Congreso Nacional del Color. Jarandilla de la Vera (Cáceres).198-199

TIGBERHIEN, A.; DELACOTE, G.; GHIGLIONE, R. y MATALON, B. (1980). *Conceptions de la lumière chez l'enfant de 10-12 ans*. Revue Francaise de Pédagogie, 50, 24-41.

WATTS, D.M. (1985). *Students' conceptions of light: a case study*. Physics Education, 20(4), 183-187.

II. ACTIVIDADES DEL MAPA DE FENÓMENOS

Unidad 6. Naturaleza de la luz.

Advertencia: si los fenómenos aquí estudiados ya fueron básicamente tratados en el tema de Ondas, las actividades de este epítome ya fueron, por tanto, básicamente trabajadas; lo único que cabe es repetirlas con experiencias en la que intervengan la LUZ, pero el contenido de planteamiento de cada una de ellas son prácticamente los mismos que en el tema de Ondas.

1ª ACTIVIDAD

Con un láser de laboratorio escolar, de baja potencia, se hace pasar un haz por el interior de la cubeta tapada, llena hasta la mitad de agua y de humo el resto de su volumen. Con esta

experiencia se visualiza perfectamente el haz del láser observándose los cambios en su dirección tanto por refracción como por reflexión.

Contenido de planteamiento

- *¿Se puede aplicar a estos fenómenos las mismas leyes estudiadas en el tema de Ondas?*
[si en el desarrollo del tema de ondas no se hubiese tratado esta cuestión habría que plantear aquí cuestiones como:
 - cuál es la causa común por la que en todas estas experiencias se modifica la dirección de propagación de la luz (se debería llegar a la conclusión que aquella es la distinta velocidad de la luz en cada medio y, de aquí, proponer la magnitud que relacione las velocidades entre sí –el índice de refracción–)
 - para la reflexión: existirá alguna relación entre los ángulos de las direcciones de los rayos incidentes y reflejados.
 - Lo mismo para la refracción.]

2ª ACTIVIDAD

Proponer alguna experiencia sencilla en la que se pueda observar lo más claramente posible la difracción

[generalmente no se puede observar claramente a simple vista, dado que el orden de magnitud de los obstáculos suele estar muy alejado del de las ondas luminosas o son muy complicados de explicar –dispersión o difusión o poder de separación o resolución–]

Contenido de planteamiento

- *¿Cómo puede explicarse que un frente de onda de magnitud grande pueda pasar a través de un pequeño orificio?*

3ª ACTIVIDAD

Experiencia sobre la absorción de la luz (por ejemplo con láser, pasar el haz a través del humo).

Se dispone de un haz de luz de fácil manejo (un láser escolar, una buena linterna,...), dos láminas de papel translúcido y una lámina de vidrio también translúcida.

En primer lugar se hace pasar el haz luminoso a través de uno de los papeles, primero acercando mucho el foco y, luego, poniendo éste en posiciones cada vez más lejanas. Después se hace pasar la luz a través de los dos papeles superpuestos y, por último, a través del vidrio.

Contenido de planteamiento

- *Observar las intensidades de luz que pasan en las distintas experiencias y aventurar, a modo de hipótesis, de qué magnitudes dependerá la disminución que experimenta la intensidad luminosa en cada caso.*

Se intenta conseguir que los alumnos formulen hipótesis sobre la influencia del espesor del medio absorbente, de su naturaleza y de la intensidad luminosa incidente (esta hipótesis se favorece si en lugar de acercar o alejar el foco, se utiliza un foco de intensidad variable).

Unidad 7. Óptica geométrica.

1ª ACTIVIDAD

Hacer incidir la luz del láser sobre el agua contenida en un recipiente de vidrio de forma esférica. Hacer lo mismo sobre el agua contenida en la cubeta del equipo láser.

Hacer notar los cambios de dirección que se produce. Utilizar también espejos planos y esféricos y obtener imágenes.

[se trataría de proponer experiencias de fácil realización en las que se advirtiera claramente cómo varía la posición, naturaleza y tamaño de las imágenes producidas]

Contenido de planteamiento

- *La imagen producida en las experiencias realizadas varía de unas ocasiones a otras, ¿en qué varían?*

Se trata de que los alumnos expliciten en lo posible, las propiedades de las imágenes que se obtienen. Es decir, su posición, tamaño y naturaleza.

- *La imagen producida en todas estas experiencias puede variar, ¿en función de que magnitudes?*

Quizá no sea difícil que los alumnos adviertan que la imagen está en función de la posición del objeto, de la curvatura de la superficie y de la diferencia de comportamiento de unos medios a otros. Esta es, en realidad, la ley básica de este contenido de óptica geométrica, tanto para el estudio de un dioptrio (espejos), como para el de una combinación de ellos (lentes).

2ª ACTIVIDAD

Realizar una dispersión de la luz blanca mediante un prisma (proyectando en una pantalla la luz descompuesta)

Contenido de planteamiento

- *Dibujar un esquema en el que se represente el haz de luz blanca incidiendo en el prisma y los haces dispersados de colores. Tal vez algunos alumnos ya hayan estudiado esta cuestión en la E.S.O., de cualquier forma, creo que se puede dirigir bien esta actividad.*

- *Sobre el esquema antes construido se pregunta: observando que cada color sufre una desviación distinta y teniendo en cuenta lo que ya se sabe sobre la refracción estudiada en el Capítulo 1, ¿qué hipótesis puede formularse para explicar las distintas desviaciones obtenidas? Parece que es de pura lógica sentar la hipótesis de que, como cada color, presenta un ángulo distinto de refracción y éste sólo depende para un ángulo de incidencia dado, del índice de refracción, es decir, de la velocidad de la luz en el medio, ésta ha de ser diferente para cada color.*

IV. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS PROPUESTOS QUE APARECEN EN EL LIBRO**Página 141. Cuestión 1**

De entre los siguientes fenómenos que puede presentar la luz, razona cuáles admiten una justificación ondulatoria y cuáles corpuscular:

- difracción
- refracción
- interferencia
- efecto fotoeléctrico.

Sol.:

Ondulatoria: difracción, refracción, interferencia, reflexión.

Corpuscular: efecto fotoeléctrico.

Página 143. Cuestión

¿Por qué es tan importante utilizar gafas oscuras cuando se va a la nieve?

Sol.: porque la nieve blanca refleja casi toda la luz que llega.

Página 143. Cuestión 1

Como explicareis el aspecto quebrado que se observa cuando introducimos un lápiz en un recipiente con agua.

Sol.: Los rayos procedentes del fondo de recipiente con agua se refractan cuando dejan la superficie, alejándose de la normal. Nuestros ojos nos dicen que el extremo inferior del lápiz está más cerca de la superficie de lo que está realmente, el lápiz parece doblarse. Con este razonamiento, justificamos porque el fondo de una piscina nos parece más próximo a la superficie de lo que realmente está.

Página 143. Cuestión 2

Di si es cierto o falso y razona la respuesta: “ Los pájaros cuando vuelan, ven a los peces más cerca de lo que realmente están”

Sol.: Verdadero

Página 143. Cuestión 3

Di si es cierto o falso y razona la respuesta: “ Los peces cuando están dentro del agua, ven a los pájaros más cerca de lo que realmente están”

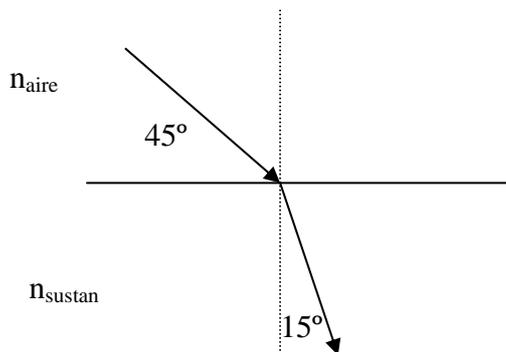
Sol.: Falso

Página 144. Cuestión 1

Un haz de luz incide sobre un medio material con ángulo de incidencia y de refracción de 45° y 15° respectivamente. Calcula con relación al aire:

- a) El índice de refracción.
- b) El ángulo límite de dicha sustancia.

Sol.:



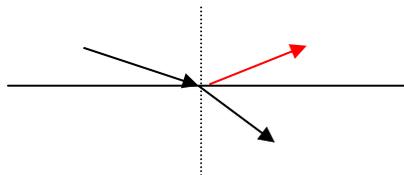
Según la ley de la refracción
 $n_{\text{aire}} \sen 45^\circ = n_{\text{sustancia}} \sen 15^\circ$
 $n_{\text{sustancia}} = 1x \sen 45^\circ / \sen 15^\circ$
 $n_{\text{sustancia}} = 2,73$

En este caso no se puede hablar de ángulo límite, porque la luz pasa de un medio con menor índice de refracción a un medio con mayor índice de refracción.

Página 144. Cuestión 2

Un rayo de luz incide sobre una superficie de agua. En la figura se representan, además del rayo incidente, el rayo refractado. Dibuja el rayo reflejado, los ángulos de incidencia, reflejado y refractado y determina el ángulo de reflexión si el de refracción es 45° . Índice de refracción del agua $4/3$.

Sol.:



Según la ley de la refracción
 $n_{\text{aire}} \sen i = n_{\text{agua}} \sen 45^\circ$
 $\sen i = 4 / 3 \sen 45^\circ$
 $i = \arcsen 0.94 = 70,53^\circ$

Página 144. Cuestión 3

Sabiendo que la velocidad de la luz en el vacío es de 300.000 Km./s , calcula la que llevaría en el agua, conociendo su índice de refracción es $4/3$.

Sol.: $n = c / v$; $v = c / n = 300.000 / (4 / 3) = 225.000 \text{ Km/s}$

Página 144. Cuestión 5

Los vidrios de las lámparas tienen múltiples caras al igual que los diamantes tallados para ser más brillantes y emitir más destellos. ¿Qué fenómeno físico lo explica y cómo sucede?

Sol.: Reflexión

Página 146. Cuestión

¿Por qué normalmente la luz no contornea los objetos? ¿Sucede lo mismo con el sonido?

Sol.: La difracción es un fenómeno característico de las ondas. Se observa cuando una onda es distorsiona por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a su longitud de onda, en esta situación la onda es capaz de sobrepasar el obstáculo. Habitualmente, uno no puede observar la difracción de la luz, ya que la mayoría de los objetos interpuestos son muchos mayores que la longitud de onda de ésta, que es del orden de $4 \cdot 10^{-7}$ a $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

Página 146. Cuestión

Determinar el coeficiente de absorción de una sustancia de 2 cm de espesor para que al ser atravesada por una onda luminosa su intensidad disminuya en un 25%..

Sol.: $0'144\text{cm}^{-1}$

Página 147. Cuestión

Es fácil que en algunos libros hayas leído que el arco iris tiene siete colores o seis pero eso no es estrictamente cierto. ¿Podrías explicar por qué?

Sol.: el espectro visible es un espectro continuo que va del rojo al violeta pasando por infinidad de colores.

Página 148. Actividad 1

a) La luz y las ondas de radio poseen la misma velocidad de propagación en el vacío.

Sol.: Verdadero, ambas son ondas electromagnéticas de la misma naturaleza y diferente longitud de onda. No se debe confundir ondas de radio con ondas sonoras.

b)- El ángulo de incidencia es siempre mayor que el de propagación en los fenómenos de refracción.

Sol.: Falso, depende de los valores de los índices de refracción de los medios según la ecuación: $\text{sen } i \cdot n_1 = \text{sen } r \cdot n_2$.

c)-Al pasar la luz de un medio a otro de distintas propiedades varía su frecuencia y su longitud de onda.

Sol.: Falso, la frecuencia no puede variar ya que ésta no depende del medio, sino de la fuente. Sí que va a variar la longitud de onda al hacerlo las propiedades del medio de propagación.

d) Para observar el arco iris hemos de tener el sol a nuestra espalda

Sol.: Verdadera

Página 148. Actividad 2

Frases truncadas.

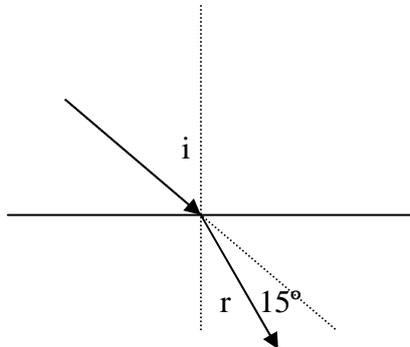
Sol.:

<i>A</i>	<i>3</i>
<i>B</i>	<i>5</i>
<i>C</i>	<i>1</i>
<i>D</i>	<i>7</i>
<i>E</i>	<i>2</i>
<i>F</i>	<i>4</i>
<i>G</i>	<i>6</i>

Página 148. Actividad 3

Un rayo de luz incide sobre una sustancia con un ángulo de 60° . Si sufre una desviación de 15° determinar el índice de refracción de la misma

Sol.:



$$i = 60^\circ \quad r = 60 - 15 = 45^\circ$$

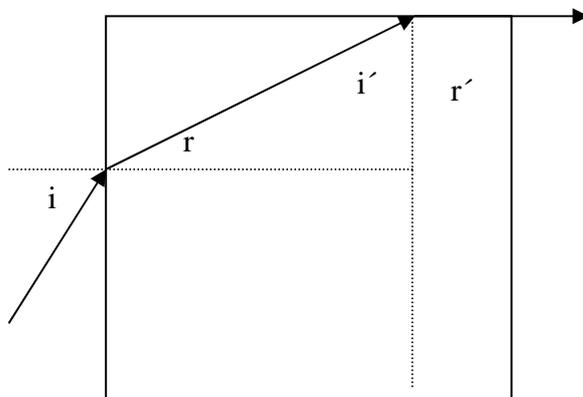
$$n = \frac{\text{sen } 60^\circ}{\text{sen } 45^\circ} = 1,22$$

$$n = 1,22$$

Página 148. Actividad 4

Un rayo luminoso incide en el centro de una cara lateral de un cubo de material transparente cuyo $n=1,3$. Si se encuentra en el aire, calcula con que ángulo debe incidir para que se produzca reflexión total en la cara de arriba.

Sol.:



Aplicando Snell

$$1,3 \text{ sen } i' = 1 \text{ sen } 90$$

$$i' = \arcsen 1/1,3 = 50,28^\circ$$

$$r + i' = 90^\circ \quad r = 39,72^\circ$$

Aplicando de nuevo Snell

$$1 \text{ sen } i = 1,3 \text{ sen } 39,72 = 0,83$$

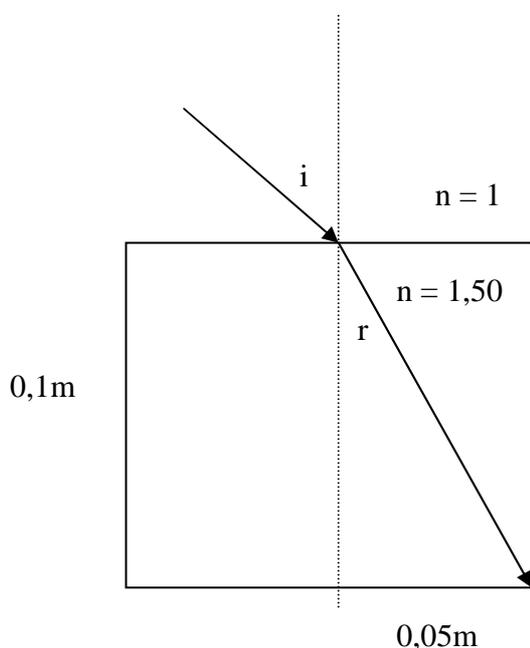
$$i = \arcsen 0,83 = 56,17^\circ$$

Debe incidir con un ángulo $< 56,17^\circ$

Página 148. Actividad 5

Por el centro de la cara superior de un cubo de metacrilato ($n=1,50$) de 10 cm de arista penetra un rayo luminoso. Calcula el ángulo máximo de incidencia para que el rayo salga por la cara inferior.

Sol.:



Nos situamos en el caso límite en que el rayo salga por el mismo vértice (para ángulos i mayores no saldría por la cara inferior). Según Snell:

$$1 \operatorname{sen} i = 1,50 \operatorname{sen} r$$

$$\operatorname{tg} r = 0,05 / 0,1 = 0,5; r = \operatorname{arctg} 0,5 = 26,56^\circ$$

$$1 \operatorname{sen} i = 1,50 \operatorname{sen} 26,56^\circ$$

$$i = 42,13^\circ$$

Dejamos a la consideración del alumno si también podría suceder que el rayo incidiera en la cara lateral y, por reflexión, emergiera por la inferior cumpliendo las condiciones del problema

Página 153. Actividad 2

¿En qué se diferencian una imagen real y una virtual?

Sol.: Las imágenes reales no pueden ser vistas por el ojo humano pero pueden ser recogidas sobre una pantalla. Se forman cuando los rayos procedentes del sistema óptico, convergen en un punto.

Las imágenes virtuales pueden ser vistas por el ojo pero no pueden recogerse en una pantalla colocada donde se forma la imagen. Se forman cuando los rayos procedentes del sistema óptico, salen divergentes y por tanto no se cortan, pero si sus prolongaciones en sentido contrario.

Página 158. Cuestión 2

En un acuario existe una pecera esférica de 5 m. de radio. ¿ Indicar donde y que tipo de imagen origina un pez situado en el centro de la misma.? Datos: Índice de refracción del agua $4/3$ y del aire 1.

Sol.: El pez se encuentra en el centro de la esfera y su imagen es virtual.

Página 164. Cuestión 1

¿Qué diferencias habría en el tamaño y la posición de la imagen de un objeto situado frente a un espejo esférico si realizamos la experiencia en el aire y en el agua?.

Sol.: Ninguna. El tamaño y la posición de la imagen de un objeto sólo dependen de la distancia y de la curvatura del propio espejo, pero no de las propiedades del medio.

Página 164. Cuestión 2

¿Qué tipo de espejo utilizarías para maquillarte: cóncavo o convexo?. Justifica la respuesta.

Sol.: Cóncavo y situado a poca distancia para que la imagen sea derecha y de mayor tamaño, de forma que pueda observar claramente todos los detalles de la cara.

Página 164. Cuestión 3

Explica la imagen que se puede formar en una cuchara sopera.

Sol.: Las dos caras de la cuchara forman imágenes diferentes. Tanto en la parte trasera de la cuchara, como su cara interior se comportan como espejos, convexo y cóncavo respectivamente. La parte trasera forma solamente imágenes virtuales de menor tamaño y derechas. La cara interna puede formar dos clases de imágenes, una de ellas es real de menor tamaño e invertida y la otra virtual aumentada y derecha.

Página 164. Cuestión 4

¿Qué tipo de espejos se utilizan como “retrovisores” en los automóviles? ¿Por qué?

Sol.: Espejos convexos, pues al formar estas imágenes más pequeñas su campo de visión cubre un área amplia.

Página 164. Cuestión 5

Como habrás observado, las ambulancias llevan los letreros escritos al revés, ¿sabrías explicar por qué?

Sol.: Para visualizar la ambulancia cuando se aproxima por detrás, utilizamos los espejos retrovisores, estos forman imágenes invertidas de izquierda a derecha, si queremos leer la palabra AMBULANCIA, ha de estar escrita tan cual la veríamos en el espejo, es decir invertida de izquierda a derecha.

Página 165. Cuestión 1

Si miras de frente a un espejo plano parece que la mano derecha es la izquierda y viceversa. ¿Por qué no realiza la inversión "arriba-abajo"? ¿Podríamos lograrla?

Sol.: porque el espejo da imágenes simétricas no invertidas. Podríamos lograr inversión arriba-abajo colocándonos encima de un espejo.

Página 165. Cuestión 2

¿Por qué razón si te miras en un estanque en calma te ves reflejado y si se levanta aire desaparece la imagen?.

Sol.: En un estanque en calma el agua actúa como un espejo plano y al haber un mínimo oleaje la reflexión ya no es especular sino difusa.

Página 165. Cuestión 3

Calcula la posición y el tamaño de la imagen producida por un espejo cóncavo de 1 metro de radio, a partir de un objeto situado a 1.6 metros del espejo.

Sol.: -0,73m y de menor tamaño.

Página 169. Cuestión

¿Cómo podría distinguir una lente convergente de una divergente?

Sol.: Por el tacto, las lentes convergentes son más gruesas en el centro que en los bordes y las divergentes son más gruesas en los bordes que en su parte media.

Página 170. Actividad 1

En un dioptrio esférico, las distancias focales objeto e imagen miden, respectivamente, 20 y 40 cm. Calcula:

- El radio de curvatura del dioptrio.
- La posición de la imagen cuando el objeto se sitúa 10 cm delante del vértice del dioptrio.
- El índice de refracción del segundo medio si el primero es el aire.

Sol.:

- $R = 20 \text{ cm}$, dioptrio convexo ;
- $s' = -40 \text{ cm}$, la imagen se forma delante del dioptrio ;
- $n' = 2$

Página 170. Actividad 2

Un objeto situado a 8 cm de un espejo esférico cóncavo produce una imagen virtual 10 cm detrás de un espejo.

- Si el objeto se aleja hasta 25 cm del espejo, ¿dónde estará la imagen?.
- ¿Qué puedes decir de ella?.

Sol.:

a) Si el objeto se aleja hasta 25 cm del espejo, estará situado entre el foco y el centro de éste.

Para determinar dónde está la imagen, aplicamos la fórmula:

$$1/s + 1/s' = 1/f; \quad 1/-25 + 1/s' = 1/-40; \quad s' = 66,67 \text{ cm.}$$

b) Al estar situado el objeto entre el foco y el centro de éste, la imagen será virtual, derecha y mayor que el objeto.

Página 170. Actividad 3

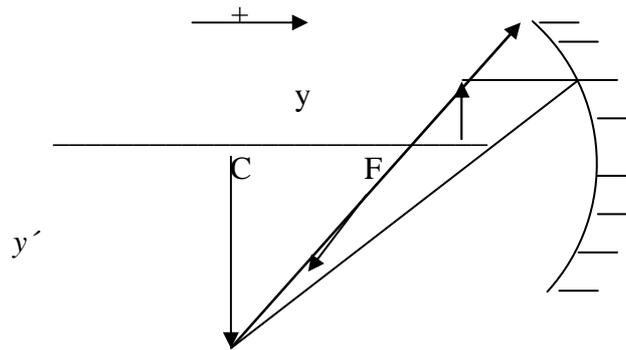
Se tiene un espejo cóncavo de 1,2 m de radio. Hallar: a) ¿A qué distancia hay que colocar un pequeño objeto en el eje para tener una imagen cuatro veces mayor que el objeto, pero invertida. b) En el caso de que el espejo sea convexo, determina la distancia a la que hay que colocar el objeto para que su imagen tenga la mitad de tamaño.

Sol.:

$$a) \beta' = y'/y = s'/s$$

Si la imagen es invertida, entonces β' es negativo, lo que quiere decir que s y s' son del mismo signo. Luego $s' = 4s$, siendo ambas negativas.

Luego: $1/s + 1/s' = 2/r$; $1/s + 1/4s = 2/-1,20$; de donde: $s = -0,75$ m.



b) En este caso, la imagen es directa y virtual. Por tanto, β' es positivo, lo que implica que s y s' tienen diferente signo y, además: $s' = -1/2 s$.

Luego: $1/s + 1/-1/2 s = 2/-1,20$; donde: $s = 0,60$ m.

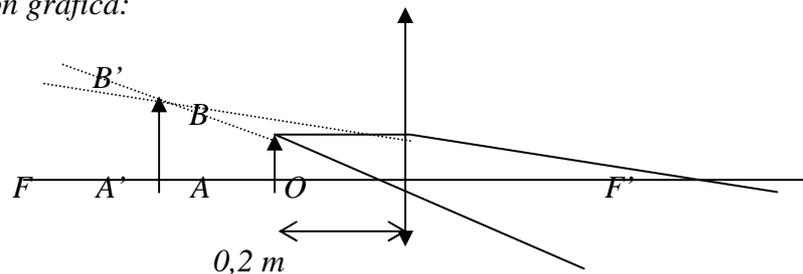
Página 170. Actividad 4

Se coloca un objeto de 10 cm de altura a 0,2 m de una lente biconvexa de 2 dioptrías.

- Obtén gráficamente la posición y el tamaño de la imagen que resulta. ¿Es real o virtual?.
- Calcula analíticamente dicha posición y tamaño.

Sol.:

a) Resolución gráfica:



La imagen es virtual, ya que está formada por la prolongación de los rayos principales, mayor que el objeto y derecha.

b) Resolución analítica:

De la expresión de la potencia de la lente, despejando y sustituyendo, se obtiene:

$$P = 1/f' = 2 \text{ dioptrías} ; f' = 1/2 = 0,5 \text{ m}$$

Para calcular el tamaño de la imagen, antes debemos determinar la distancia de la imagen a la lente a través de la expresión:

$$1/s' - 1/s = 1/f'$$

donde: s' = distancia imagen, s = distancia objeto, f' = distancia focal imagen.

Utilizamos como convenio de signos el siguiente:

Se toma como origen del sistema de referencia el punto O: el eje de abscisas es el eje principal, y el de ordenadas, la perpendicular que pasa por O. Las distancias serán positivas o negativas según lo sean la abscisa o la ordenada correspondientes.

Por tanto, despejando y sustituyendo en la fórmula anterior:

$$s' = s \cdot f' / s + f' = -0,2 \cdot 0,5 / -0,2 + 0,5 = -0,33 \text{ m}$$

Teniendo este dato, podemos determinar el tamaño de la imagen a partir de la expresión que proporciona el aumento lateral de la lente:

$$\beta = y'/y = s'/s ; y' = s' \cdot y/s = -0,33 \cdot 0,10 / -0,2 = 0,167 \text{ m} ; y' = 16,7 \text{ cm}$$

Por ser la imagen positiva, la posición es igual que la del objeto.

Página 170. Actividad 5

El objetivo (lente convergente) de una cámara fotográfica tiene una distancia focal de 50 mm. Con esta cámara se realiza una fotografía de un niño que tiene 1,2 m de altura y que está de pie a 3,0 m de distancia. Calcula: a) la distancia que debe haber entre la lente y la película para que se forme sobre ésta una imagen nítida; b) la altura de la imagen del niño en la película.

Sol.:

a) Los datos del enunciado son: $s = -3,0 \text{ m}$; $y = 1,2 \text{ m}$; $f' = + 50 \text{ mm}$.

Se calcula la distancia imagen (s') sustituyendo en la ecuación de las lentes delgadas:

$$1/s' - 1/s = 1/f' ; 1/s' - 1/-3,0 = 1/0,050 ; \text{donde: } s' = 0,051 \text{ m.}$$

Es decir, la película en la que se forma la imagen se coloca a 51 mm del centro óptico de la lente.

b) El tamaño de la imagen se determina a partir del aumento lateral:

$$A = y'/y = s'/s = 0,051 / -3,0 = -0,017$$

El signo negativo indica que la imagen es invertida y su altura es:

$$y' = -0,017 \cdot 1,2 = -0,020 \text{ m} = -2,0 \text{ cm.}$$

Página 170. Actividad 6

Sea una lente delgada convergente de distancia focal 30 cm. Calcular las posiciones y los tamaños de las imágenes formadas por un objeto de 5 cm de altura situado en las siguientes posiciones:

- A una distancia infinita
- A 40 cm de la lente
- A 20 cm de la lente
- Construir los diagramas de rayos de los casos anteriores

Sol.:

- $s' = 30 \text{ cm}$, el tamaño de la imagen sería muy pequeño.
- $s' = 120 \text{ cm}$, $y' = 15 \text{ cm}$
- $s' = -60 \text{ cm}$, $y' = -15 \text{ cm}$

Página 170. Actividad 7

En una lente divergente, el objeto está situado a 60 cm en el lado izquierdo, y la imagen está a 40 cm también en el lado izquierdo. Si los radios de ambas caras de la lente tienen valor de 20 y 30 cm, calcula:

- Longitud focal de la lente
- Índice de Refracción
- Construye el diagrama de rayos correspondiente

Sol.: suponemos una lente bicóncava.

- $f' = -120 \text{ cm}$
- $n = 1,1$

Página 170. Actividad 8

Ante una lente convergente de 4 dioptrías y a 30 cm del centro óptico, se encuentra un objeto cuya altura es de 3 cm. Determina:

- a) Posición del objeto
- b) Tamaño del objeto

Sol.:

- a) $s' = 1,5 \text{ m}$
- b) $y' = -15 \text{ cm}$

Página 170. Actividad 10

Un objeto forma una imagen de igual tamaño a él mismo a una distancia de 40 cm de la lente. Determina la potencia de la lente

Sol.: sólo con lentes convergentes podemos obtener imágenes del mismo tamaño. Esta imagen tienen que ser real y por lo tanto invertida. $P = 5 \text{ dp} = 1/20 \text{ cm}^{-1}$

Página 170. Actividad 12

Indica si es VERDADERO O FALSO y razona la respuesta.

1.-El espejo retrovisor izquierdo de los coches empequeñece las imágenes porque las aleja.

Sol.: Falso, es un espejo convexo y éstos siempre forman imágenes más pequeñas que el objeto real a pesar de acercarlas al ojo del conductor. Este efecto puede llegar a equivocar a un conductor no habituado a este efecto pensando que un vehículo que se aproxima se encuentra más alejado de lo que, en realidad, está.

2. La distancia focal de una lente es diferente en el aire y en el agua.

Sol.: Verdadero, la distancia focal de una lente depende de los índices de refracción del medio en el que se encuentra y del vidrio de la propia lente. Al sumergir una lente en agua cambiamos el índice de refracción del aire, que es aproximadamente 1 por el del agua, que es 1,333.

3. Con una lente convergente la imagen del sol se forma en el foco.

Sol.: Falso, se forma en el plano focal

4. Para una lente convergente:

- a) Los rayos paralelos al eje óptico coinciden en un punto llamado foco.(V)
- b) No se forma imagen cuando el objeto se sitúa en el foco.(V)
- c) La imagen formada es mayor, virtual y derecha cuando el objeto se sitúa entre el foco y la lente.(V)
- d) Entre el infinito y el foco la imagen es real e invertida y va creciendo a medida que nos acercamos a éste.(V)

Página 171. Actividad 14

Completa las siguientes frases

- 1.- Al girar un espejo plano un ángulo x el rayo reflejado gira un ángulo
- 2.- El conjunto formado por dos medios transparentes isótropos y homogéneos con índice de refracción distintos, separados por una superficie se denomina
- 3.- Todo medio transparente, isótropo y homogéneo limitado por dos superficies curvas o por una plana y otra curva se llama

Sol.: 1) $2x$; 2) dioptrio; 3) lente.

Página 177. Cuestión 1

Un miope y un hipermetrope se han perdido y quieren encender un fuego para ser localizados. Si ninguno lleva cerillas, ¿cuál de ellos podrá usar sus gafas para conseguirlo?

Sol.: El hipermetrope, ya que, las gafas del miope poseen lentes divergentes y no pueden concentrar los rayos solares.

Página 177. Cuestión 2

Los bebés tienen un poder de acomodación de hasta 7 dioptrías. ¿Qué ventajas les proporciona esa facultad?

Sol.: Teniendo en cuenta su pequeño tamaño, gran parte de los objetos que observan están en sus manos a muy poca distancia de sus ojos y sólo si pueden dar mucha curvatura a su cristalino podrán formar una imagen nítida en la retina.

Página 177. Cuestión 3

Completa la siguiente frase: Un individuo que usa gafas para ver de lejos es y si también las necesita de cerca es

*Sol.: Un individuo que usa gafas para ver de lejos es **miope** y si también las necesita de cerca es **préscita***

Página 178. Cuestión

¿Qué tipo de lente es una lupa?

Sol.: Es una lente convergente. Al utilizarla el objeto se sitúa entre la lente y el foco de modo que la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto.

Página 183. Cuestión 1

Completa:

- a) El color de un objeto es el que se observa cuando se ilumina con luz
- b) Iluminado con luz verde, un objeto blanco parece
- c) Iluminado con luz blanca, un objeto rojo difunde luz
- d) Un filtro azul que recibe luz blanca transmite luz

Sol.: a) blanca; b) verde; c) roja; d) azul.

Página 183. Cuestión 2*Sol.:*

<i>A</i>	<i>4</i>
<i>B</i>	<i>1</i>
<i>C</i>	<i>4</i>
<i>D</i>	<i>1</i>
<i>E</i>	<i>1</i>

Página 184. Cuestión

En los días nublados se usan filtros amarillos para ver mejor los objetos lejanos. ¿Por qué?

Sol.: Porque eliminan la luz violeta y azul que al dispersarse más que las otras llega desde todos lados al ojo y difuminan la imagen de estos objetos

Página 185. Actividad 1*Sol.:*

<i>A</i>	<i>2</i>
<i>B</i>	<i>3</i>
<i>C</i>	<i>5</i>
<i>D</i>	<i>1</i>
<i>E</i>	<i>4</i>

Página 185. Actividad 2

Estudia los elementos fundamentales que componen una cámara fotográfica y compáralos con los de un ojo humano en función de la misión que realizan.

Sol.:El objetivo de una cámara es una lente que permite enfocar de la misma forma que el sistema constituido por el cristalino y los músculos ciliares le permite el enfoque al ojo.

La cantidad de luz que se precisa en cada momento queda regulada por el diafragma. El iris es el "diafragma humano" y controla el paso de luz a través de la pupila (observa como la pupila humana es un pequeño punto si hay mucha luz y se dilata mucho si estamos a oscuras).

La retina es la pantalla en la que se forman las imágenes de los objetos. Para ello cuenta con células específicas, denominadas bastones y conos. Su misión es la misma que el rollo de película que colocamos en las cámaras.

Los nervios ópticos y el cerebro revelan las imágenes.

Página 185. Actividad 3

¿Qué defectos en la visión presenta una persona con gafas bifocales?.

Sol.:Dos, miopía y presbicia. Estas gafas dos en una, con una parte corrigen la miopía (lente divergente) y con la otra la presbicia (lente convergente para compensar la pérdida de flexibilidad del cristalino con la edad).

Página 185. Actividad 4

Si un objeto iluminado con luz natural (luz blanca) se ve verde, ¿de qué color se vería cuando sobre él incida una luz que no tiene verde?

Sol.: Al no incluir el verde el objeto no reflejaría nada y parecería negro

Página 185. Actividad 5

¿Qué luz refleja un objeto amarillo? ¿Cómo se verá si se ilumina con luz roja?

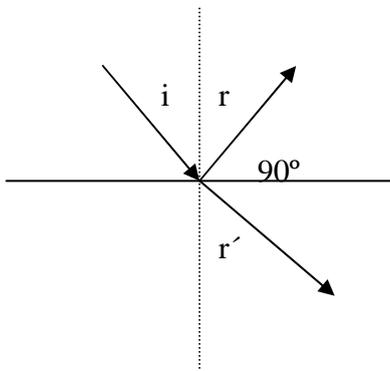
Sol.: Refleja la luz roja y verde que cuando se combinan en nuestros ojos aparece amarilla. El objeto amarillo absorbería por lo tanto la luz azul.

Iluminado con luz roja reflejaría el rojo

V. OTROS EJERCICIOS Y PROBLEMAS PROPUESTOS CON SOLUCIONES
EJERCICIO 1P

Un rayo luminoso pasa del aire ($n=1$) al agua ($n=1,33$) y produce un rayo reflejado y otro refractado. Si ambos forman un ángulo de 90° , calcula el ángulo de incidencia.

Sol.:



Para la refracción

$$1 \operatorname{sen} i = 1,33 \operatorname{sen} r'$$

$$1,33 = \operatorname{sen} i / \operatorname{sen} r' \quad (1)$$

Pero $r' = 90^\circ - r$

$$\operatorname{sen} r' = \operatorname{sen} (90^\circ - r) = \cos r$$

Como por reflexión $i = r$

$$\operatorname{sen} r' = \cos i. \text{ Llevando a (1)}$$

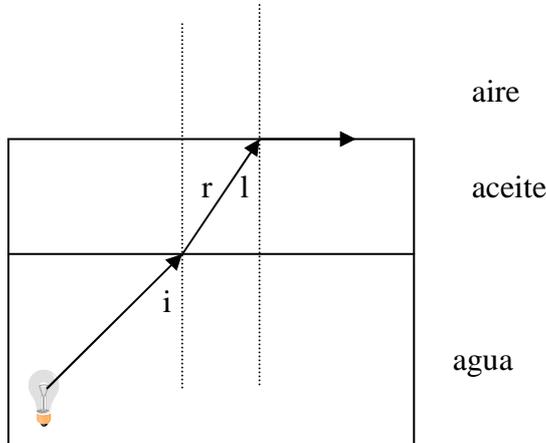
$$1,33 = \operatorname{sen} i / \cos i = \operatorname{tg} i$$

$$i = \operatorname{arctg} 1,33 = 53,06^\circ$$

EJERCICIO 2P

Tenemos un vaso que contiene agua y aceite en cuyo fondo hemos colocado un foco de luz. Calcula el ángulo con el que debe incidir el rayo en la superficie de separación del agua y el aceite para que no salga por el aire. Datos: $n_{\text{aire}}=1$, $n_{\text{aceite}}=1.5$, $n_{\text{agua}}=1.34$.

Sol.:



El caso límite es que llegue a la superficie del aceite con el ángulo límite $r = l$.

Aplicando las sucesivas refracciones $n_{\text{agua}} \sen i = n_{\text{aceite}} \sen r = n_{\text{aire}} \sen 90$

$$\sen i = 1 \times 1 / n_{\text{agua}} = 1 / 1.34 = 0.746$$

$$i = \arcsen 0.746 = 48,26^\circ$$

Por tanto i deberá ser igual o mayor de $48,26^\circ$

EJERCICIO 3P

1.-¿Por qué el índice de refracción de cualquier medio es siempre mayor o igual que 1?

Sol.: Por ser el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y en cualquier otro medio y el mayor valor de la velocidad de la luz tiene lugar en el vacío.

2. ¿Qué relación existe entre los fenómenos de interferencia y de la difracción?

Sol.: La difracción no podría observarse si no existieran las interferencias. Las interferencias de los rayos de luz forman las zonas de luz y sombras que se forman después de difractar los rayos luminosos.

3. Un rayo de Sol tarda unos 8 minutos en llegar a la Tierra. ¿De qué forma variaría ese tiempo si la atmósfera terrestre duplicara su radio?

Sol.: De forma poco apreciable, ya que, la velocidad de la luz en el aire y el vacío son bastante similares.

4. Un espejo, ¿realmente se ve?

Sol.: Si es un espejo perfecto es imposible. Sólo podemos ver las imágenes que en él se reflejan, pero no el propio espejo.

5. ¿Cómo se ve un objeto que se ha colocado delante de una lente convergente a una distancia igual a la distancia focal?

Sol.: No se ve. En este caso la imagen se formaría en el infinito.

6. Una imagen virtual, ¿puede ser recogida en una pantalla?

Sol.: No, sólo las imágenes reales pueden hacerlo. En las virtuales los rayos de luz no confluyen y, por tanto, no se puede recoger la imagen.

7. ¿Podíamos idear una manera de calentar agua en el Polo Norte, un día soleado en el que se nos ha olvidado el combustible para la cocina de campaña?

Sol.: Fabricar una lente convergente con hielo.

8. ¿Qué ocurriría si el cuerpo humano tuviera en mismo índice de refracción que el aire?

Sol.: Hombre invisible

9. Si una hoja de papel blanco refleja tanta luz como un espejo ¿por qué no actúa como tal?

Sol.: Porque la reflexión es difusa

10. Hemos de probar que la Luna carece de atmósfera. Usando el fenómeno de la refracción, idea una manera de hacerlo.

Sol.: La atmósfera lunar, si la hubiera, curvaría la luz de una estrella situada detrás de la Luna y próxima a su borde.

VI. UN EJEMPLO DE PROBLEMA ABIERTO

Un rojizo sol está a punto de alcanzar el horizonte tiñiendo la nubes de bellos tonos rojo-anaranjados. Mientras con tu amigo o amiga te encuentras mirando este hermoso atardecer, un viejo del lugar, que por allí pasa, os dice: “¿sabíais que ese sol que estáis mirando ya no está ahí?”. Os quedáis perplejos y pesáis que el anciano “debe haber *perdido la cabeza*”. Al volver a casa recuerdas que el profesor de Física te contó hace un par de semanas una lección en la que los rayos de luz cambiaban de dirección y te preguntas: “¿tendrá el viejo algo de razón?” ¿Serías capaz de obtener, de forma aproximada, el valor del ángulo de desviación de los rayos solares en las condiciones del enunciado?

Sol.:

1ª Fase: Análisis verbal de la situación:

Un rayo solar, hasta llegar a nuestra retina, después de viajar a través del vacío interplanetario, deberá atravesar la atmósfera. Ésta, al ser un medio material, deberá, en alguna medida, impedir la transmisión de la luz, por lo que la velocidad de la luz en ella, aunque muy parecida a la del vacío, no será exactamente la misma; de forma que poseerá un cierto valor para su índice de refracción. Por tanto, surgirá el fenómeno de la refracción y, con él, podrá ocurrir un cambio en la dirección de propagación de un rayo de luz. Luego..., tal vez el viejo tenga algo de razón.

Desde luego, para resolver este problema, la ley adecuada es la de Snell:

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2$$

Siendo n_1 el índice de refracción en el medio desde el cual el rayo de luz incide en la superficie de separación entre dos medios con diferente índice de refracción y n_2 el índice de

refracción en el segundo medio. θ_1 y θ_2 son, respectivamente los ángulos de incidencia y refracción.

Sólo surge un problema. Como el aire no posee siempre la misma densidad desde que el rayo entra en la atmósfera hasta que llega a nuestros ojos (la atmósfera no es un medio homogéneo), el índice de refracción no será constante en la atmósfera a lo largo de la trayectoria del rayo. Pero, si pensamos un poco, este problema es fácilmente solventable; ya que, si suponemos como aproximación que, a tramos, el aire es uniforme, en cada cambio de medio se cumple la ley de Snell y, por tanto, por ejemplo, para tres capas se cumple (fig. 1):

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2 = n_3 \operatorname{sen} \theta_3$$

Es fácil observar que este resultado es ampliable a cualquier número de capas. De forma que, si consideramos como medio uno el vacío ($n_1=1$) y como medio final el que nos rodea a nosotros mientras observamos al sol, se cumplirá:

$$\operatorname{sen} \theta_1 = n \operatorname{sen} \theta_2 \quad (1)$$

siendo n el índice de refracción de la atmósfera al nivel en que nos encontramos observando al sol. De esta forma, concluimos que el ángulo final refractado sólo depende del ángulo incidente y del índice de refracción al nivel de la superficie terrestre. Nosotros debemos obtener la diferencia entre el ángulo incidente en la capa en la cual consideremos que comienza la atmósfera y el ángulo refractado. Esto es, $\theta_1 - \theta_2$.

En la figura 2 hemos hecho una representación, que no se encuentra a escala, dado que el espesor de la capa atmosférica es muy pequeño si lo comparamos con el radio de la Tierra. En ella representamos un rayo que incide sobre la atmósfera, formando un ángulo θ_1 con la normal a la tangente a la capa atmosférica en el punto de incidencia del rayo, y es refractado con un ángulo θ_2 , respecto a dicha normal. Por trigonometría se puede conocer fácilmente el ángulo θ_2 conocido el radio terrestre y el espesor de la capa de atmósfera.

2ª Fase: Tabla de datos y resolución

Dado que, como se deduce de la figura 2, para calcular el valor del ángulo θ_2 necesitamos conocer el valor del radio de la Tierra y el de la capa de atmósfera, buscamos en la bibliografía y encontramos para el primero un valor de 6370 km. El valor del segundo es más difícil de encontrar en la bibliografía y también de precisar exactamente su significado, dado que la atmósfera no posee un final claro. Tomaremos para esta magnitud el valor de la altura de la Troposfera, que es de aproximadamente 10 km, altura a la que la densidad de la atmósfera es la décima parte de la que existe en la superficie.

De esta forma, el valor de θ_2 lo encontramos por trigonometría en la forma:

$$\operatorname{Sen} \theta_2 = \text{cateto opuesto/hipotenusa} = 6370 / (6370 + 10) = 6370 / 6380$$

$$\theta_2 = \operatorname{arcsen} (6370/6380) = 86,8^\circ$$

Ahora, para poder emplear la expresión (1) necesitamos el valor del índice de refracción de la atmósfera terrestre al nivel de la superficie de la Tierra. Buscando en la bibliografía, finalmente podremos encontrar el valor de 1,0003. Y aplicando la expresión (1) tendremos que:

$$\theta_1 = \operatorname{arcsen} (n \operatorname{sen} \theta_2) = 87,1^\circ$$

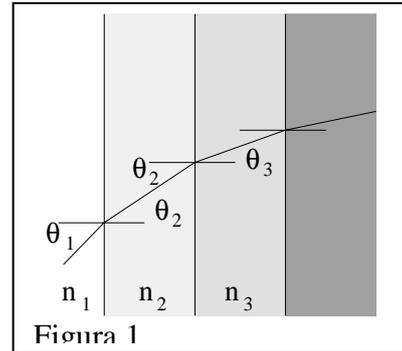


Figura 1

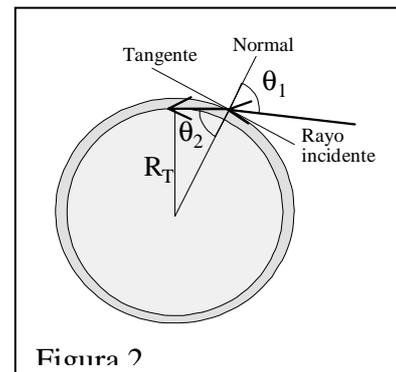


Figura 2

De esta forma, la diferencia entre el ángulo de incidencia y el de refracción es de $0,3^\circ$.

El valor obtenido se corresponde con el del ángulo que estando un cuerpo celeste por debajo de la línea del horizonte el objeto seguiría viéndose debido al efecto de la refracción atmosférica, que cambia la dirección del movimiento del rayo de luz, de forma que incide sobre nosotros paralelamente a la superficie de nuestro horizonte.

3ª Fase: Interpretación de los resultados y comentarios finales:

En primer lugar hemos comprobado que el viejo tenía, al menos, algo de razón. Desde luego, el Sol no se encontraba en el lugar que se le veía. Ahora bien, para saber si ya no había ninguna parte de Sol sobre el horizonte deberemos obtener el tamaño angular aparente del Sol.

Para terminar hemos de decir que el procedimiento seguido para resolver el problema es sólo aproximado. Dado que para rayos que inciden en la atmósfera con ángulos tan cercanos al horizonte es imprescindible considerar la curvatura de las diversas capas que va atravesando el rayo luminoso. Lo que implica que la expresión (1), que puede considerarse una aproximación muy buena para cuerpos celeste que formen ángulos respecto a la normal al punto de observación menores de 60° , conduce a resultados erróneos que son proporcionalmente importantes para ángulos superiores a 80° . Si miramos en la bibliografía, el resultado que se obtiene se encuentra entre $0,5^\circ$ y $0,6^\circ$ para cuerpos en las proximidades de la línea del horizonte. El tamaño aparente del Sol, se obtiene con mucha facilidad y su valor es, aproximadamente, de $0,5^\circ$, por lo que cuando el Sol se ve justo encima de la línea del horizonte, es que está justo debajo de la misma.

Para ángulos menores de 60° , la curvatura de la Tierra puede despreciarse y, a diferencia de la forma en la cual se ha resuelto el ejercicio, el ángulo de refracción es prácticamente el mismo medido respecto al punto de observación o al punto en el cual consideramos el inicio de la atmósfera.

VII. TEST DE CONOCIMIENTO Y TEST DE APLICACIÓN

Página 148. Test de aplicación

Sol.:

<i>1</i>	<i>C</i>
<i>2</i>	<i>C</i>
<i>3</i>	<i>A</i>
<i>4</i>	<i>D</i>
<i>5</i>	<i>A</i>

Página 149. Test de conocimiento

Sol.:

<i>1</i>	<i>C</i>
<i>2</i>	<i>C</i>
<i>3</i>	<i>A</i>
<i>4</i>	<i>A</i>
<i>5</i>	<i>A</i>
<i>6</i>	<i>A</i>
<i>7</i>	<i>D</i>

Página 171. Test de conocimiento*Sol.:*

<i>I</i>	<i>D</i>
<i>2</i>	<i>D</i>

Página 171. Test de aplicación*Sol.:*

<i>I</i>	<i>D</i>
<i>2</i>	<i>C</i>

VIII. ACTIVIDADES SOBRE LECTURAS COMPLEMENTARIAS**¿Por qué el cielo es azul?**

1. Hacer un subrayado de los colores que se citan en el artículo y ordenarlos por longitudes de onda crecientes.
2. Busca en la bibliografía alguno de los fenómenos ópticos cromáticos que se describen en el artículo.
3. Dibuja un prisma por el que se hace pasar la luz del Sol y dibuja los rayos a la salida del mismo.
4. ¿Por qué la luna cuando está en el horizonte se ve de color naranja?

Telescopios

1. Haz un resumen de la lectura y comenta lo que más te llame la atención.
2. ¿Qué problemas daban los espejos?
3. ¿Qué materiales se utilizaban en su construcción?
4. ¿Qué diferencia hay entre un telescopio refractor y uno reflector?
5. ¿Hay algún telescopio en España?
6. Busca en la bibliografía documentación sobre los últimos telescopios.

X. DIRECCIONES DE INTERNET

1. Principio de Fermat

<http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/applets/Hwang/ntnujava/refraction/refraction.html>

<http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/applets/Hwang/ntnujava/Fermat/Fermat.html>

2. Reflexión y refracción

<http://home.a-city.de/walter.fendt/physesp/refraccion.htm>

<http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/applets/Hwang/ntnujava/light/flashLight.html>

3. Angulo límite

<http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/applets/Hwang/ntnujava/fishEye/fishEye.html>

4. Focos y distancias focales

http://enebro.pntic.mec.es/%7Efmag0006/op_applet_5.html

5. Lentes

<http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/applets/Hwang/ntnujava/thickLens/thickLens.html>

6. Espejos y lentes

http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/applets/Hwang/ntnujava/Lens/lens_e.html

7. Combinación de Lentes delgadas

<http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/applets/Hwang/ntnujava/thinLens/thinLens.html>

8. Visión del color

http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/applets/Hwang/ntnujava/color/color_e.html