



ZIENTZIAREN KUTXAGUNEA  
KUTXAESPACIO DE LA CIENCIA

# JUEGOS DE LUZ

MANUAL PARA EL **PROFESORADO**

Este documento está editado en **euskera, castellano y francés**. Si quiere recibir alguno de estos idiomas, solicítelo en el teléfono de reservas:

 **943 012 917**

# JUEGOS DE LUZ

MANUAL PARA EL **PROFESORADO**

*Nuestra vocación más querida es la de ser un recurso para la Comunidad Educativa. Profundizando en ella hemos emprendido un proyecto de investigación con el título: "Diseño y elaboración de materiales didácticos para alumnos y profesores de enseñanza secundaria que ilustran recorridos educativos por kutxaEspacio Museo de la Ciencia".*

*Se trata de una colaboración entre kutxaEspacio Museo de la Ciencia, la Universidad del País Vasco y el Departamento de Educación, Universidades e investigación del Gobierno Vasco. En sus manos tiene el primer resultado de este proyecto que muy pronto tendrá su continuación en nuevos materiales pedagógicos. Esperamos que nuestro esfuerzo les resulte útil.*

*Reciban un cordial saludo de,*

*Félix Ares*

*Director General.*

## Ficha Técnica

### Edita:

kutxaEspacio Museo de la Ciencia  
Mikeletegi Pasealekua 45  
20009 Donostia-San Sebastián

### Autores:

Rafael Azcona Rivado, Mikel Etxaniz Añorga, Jenaro Guisasa Aranzabal y Emiliano Mugika Mandiola.

### Fotografías:

kutxaEspacio Museo de la Ciencia

### Notas de ISBN:

Juegos de luz. Guía didáctica para el profesorado (castellano).  
ISBN 84-609-6287-3.  
Depósito legal: SS-823/05  
PVP: 6 €

MATERIALES FINALISTAS DE LOS PREMIOS "FÍSICA EN ACCIÓN"  
Y SELECCIONADOS PARA LA FERIA EUROPEA "PHYSICS ON STAGE"

Si desea más información sobre cualquier tema concreto o, simplemente, quiere conocer mejor kutxaEspacio de la Ciencia visite nuestra web:

[www.miramon.org](http://www.miramon.org)

Para resolver una duda o para realizar su reserva, puede llamar al servicio de reservas

 **943 012 917**

de lunes a viernes de 9,30 h a 13,30 h.

Si quiere llevar a cabo cualquier consulta a través del correo electrónico, la dirección es la siguiente:

[kutxaespacio@kutxa.es](mailto:kutxaespacio@kutxa.es)

Y si prefiere ponerse en contacto a través del fax, puede hacerlo en el:

 **943 012 918**



# Juegos de luz.

El tema a estudiar por los alumnos en la presente sala es la óptica. El aprendizaje se efectuará de forma lúdica, ya que así lo permiten los diferentes módulos. Se analizarán todos los aspectos de la óptica, pero no de manera sistemática: únicamente se realizarán algunos experimentos en cada área de trabajo. En el apartado de óptica física se estudiarán la reflexión y la refracción, la fibra óptica, la polarización, las interferencias, el láser y los hologramas. En el apartado de óptica geométrica se estudiarán los espejos, las lentes y la formación de imágenes; en el apartado destinado al color, por último, se estudiarán la composición y la descomposición de la luz, así como la suma y la resta de colores.

Conviene que los alumnos -tanto los de ESO como los de Bachillerato- hayan estudiado el tema en clase antes de dirigirse al Museo, donde podrán llevar a cabo experimentos que no tuvieron oportunidad de realizar en las aulas y materializar en la práctica lo que aprendieron solamente en teoría. De este modo, los fenómenos o problemas que se presentan en los módulos tendrán significado para los estudiantes y tendrán posibilidades de resolverlos o explicarlos.

El tema (la luz) no resulta sencillo. Diversas investigaciones demuestran que los conocimientos de los estudiantes son, por lo general, incompletos y confusos. Muchos estudiantes creen que la luz es la fuente de luz, que la luz natural y la artificial son diferentes, que la luz puede esquivar los objetos ("tomar curvas") y llegar a cualquier punto... Otro tanto sucede con la visión: numerosos alumnos están convencidos de que para ver un objeto no es necesario que la luz que emite dicho objeto llegue hasta nuestros ojos; basta -creen- con dirigir la mirada al objeto iluminado por la luz. Hay, por otra parte, quien cree que no solo la luz emite rayos luminosos, sino que también pueden hacerlo los ojos...

Habida cuenta de la escasa importancia que se da al tema de la óptica en los planes de estudios, sucede en ocasiones que algunos de los citados errores persisten incluso tras haber sido tratado el tema en clase. Obviamente, la confección de unos pocos croquis sobre la trayectoria de los rayos de luz en los espejos y lentes no puede modificar sustancialmente los esquemas previos de los alumnos.

Así pues, hemos intentado fijar criterios correctos en los materiales de ESO, utilizando ejemplos apropiados para dejar bien claro que la luz se emite desde las fuentes de luz, que la propagación se produce en el espacio a gran velocidad y en línea recta, que al encontrarse con un objeto la luz se desvía o se refleja, y que para que un objeto pueda ser visto la luz emitida por la fuente debe reflejarse en dicho objeto y ser percibida por nuestros ojos.

No hemos creído necesario repetir dicha introducción en Bachillerato, por lo que hemos limitado a efectuar algunas preguntas en el apartado *Recuerda*, con el fin de reforzar los citados esquemas. Sin embargo, si los alumnos no han utilizado el material de ESO y están muy "perdidos", puede ser conveniente utilizar la introducción de ESO también para los alumnos de Bachillerato.

Los fenómenos que presentamos en algunos módulos están relacionados con los contenidos que se imparten en ESO, pero la mayoría lo están con los de Bachillerato. Así pues, en el material de ESO no se estudian todos los módulos. En otros casos, nos hemos limitado a efectuar la presentación del contenido, por considerarlo de interés, sin pedir a los alumnos que expliquen dicho contenido, u ofreciendo nosotros las explicaciones pertinentes. Por el contrario, y por lo que al material de Bachillerato se refiere, hemos trabajado con todos los módulos, profundizando (por lo general) los planteamientos de ESO y pidiendo a los alumnos que expliquen los contenidos. Conviene, por tanto, revisar todos (o casi todos) los módulos con un grupo de alumnos de Bachillerato, aunque ya hayan estado en el Museo siendo alumnos de ESO.

Los alumnos utilizarán los croquis (un procedimiento muy apropiado) en todos los módulos para expresar gráficamente y de manera sencilla las situaciones reales.

Hemos puesto especial interés en la interrelación entre los fenómenos que se estudian en los módulos y sus aplicaciones técnicas, de manera que los alumnos perciban la estrecha conexión existente entre los conocimientos científicos y su propia vida cotidiana.

Los módulos de la sala se pueden clasificar en varios itinerarios, de acuerdo con el problema planteado en el módulo.

## Ésta será la guía de tu visita:

<p><b>1 Espejos planos y cóncavos.</b> (¿Dónde está la <b>imagen?</b> en el material de los alumnos)</p>	<p>En este itinerario inicial se estudiarán la reflexión y los espejos, los planos primero, y a continuación, los curvado (cóncavos).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Módulo: Multiplícate.</b></li> <li>• <b>Módulo: Espejo antigraedad.</b></li> <li>• <b>Módulo: Espejo cóncavo.</b></li> <li>• <b>Módulo: Agárralo como puedas.</b></li> <li>• <b>Módulo: Espejos para perderse</b></li> </ul>
<p><b>2 La refracción y sus leyes.</b> (La <b>propagación de la luz</b> al cambiar de medio, en el material de los alumnos)</p>	<p>En este itinerario los alumnos analizarán la refracción, la desviación de la luz al cambiar de medio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Módulo: La cara oculta.</b></li> <li>• <b>Módulo: Ángulo crítico.</b></li> <li>• <b>Módulo: Tubería de luz.</b></li> </ul>
<p><b>3 Las lentes y los caminos de la luz.</b> (Otro modo de <b>crear imágenes</b>, en el material de los alumnos)</p>	<p>En el tercer itinerario se apreciarán los cambios de dirección y las imágenes que provocan otros elementos, dioptrios y lentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Módulo: Caminos de luz.</b></li> <li>• <b>Módulo: Lupa gigante.</b></li> <li>• <b>Módulo: Prismas y espejos.</b></li> </ul>
<p><b>4 Colores.</b> (<b>Haciendo y deshaciendo</b> la luz, en el material de los alumnos)</p>	<p>Este itinerario está dedicado al color, y se estudiarán la dispección de la luz y la adición y sustracción de los colores.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Módulo: Paisaje de colores.</b></li> <li>• <b>Módulo: Sombras de colores.</b></li> <li>• <b>Módulo: Resta de colores.</b></li> </ul>
<p><b>5 Otras características de la luz.</b></p>	<p>Se analizarán, por último, otros fenómenos relacionados con la naturaleza ondulatoria de la luz: las interferencias y la polarización.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Módulo: Burbujas de colores.</b></li> <li>• <b>Módulo: Hologramas.</b></li> <li>• <b>Módulo: Magia con la luz.</b></li> <li>• <b>Módulo: Luz rota.</b> (Este módulo sólo lo visitarán los alumnos de bachiller)</li> </ul>

# 1 ¿Dónde está la imagen?

Como señalábamos en la introducción, hemos preferido tratar el tema mediante un texto en vez de hacer preguntas sobre la luz a los estudiantes. En todo caso, conviene que, antes de desplazarse al Museo, los alumnos sepan bien cómo se refleja la luz en los espejos planos y qué tipo de imágenes se forman. Aunque no hayan estudiado el tema en clase, los estudiantes ven con frecuencia espejos planos en su vida cotidiana, por lo que cuentan con experiencia al respecto. Así pues, hemos preferido preguntar a los alumnos a ofrecer nosotros dicha información.

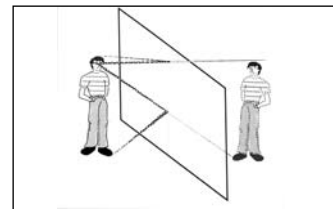
## ► Recuerda

### 1. ¿En qué dirección salen los rayos tras reflejarse en un espejo plano?

Probablemente, los alumnos responderán que “en una misma dirección” o algo similar. Si se desea concretar más, puede añadirse lo siguiente: el ángulo del rayo (se denomina ángulo de incidencia) es el que forma el propio rayo con la perpendicular del espejo; el ángulo de reflexión, por su parte, es el que forma el rayo reflejado con la perpendicular del espejo. Ambos ángulos son iguales entre sí.

### 2. ¿Dónde se sitúa la imagen del objeto que forma un espejo plano?

La imagen se sitúa detrás del espejo. La distancia del espejo a la imagen es la misma que la del espejo al objeto: la imagen y el objeto son simétricos, debido a que en los espejos planos el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Si se desea una demostración gráfica de dicho fenómeno, puede hacerse un dibujo como el que mostramos a continuación.



### 3. ¿Cómo es dicha imagen: real o virtual?

Debe subrayarse a los alumnos que la imagen es necesariamente virtual, ya que se forma “detrás” del espejo. Creemos conveniente aclarar desde el principio la diferencia entre imagen real e imagen virtual, así como asegurarse de que los alumnos han entendido bien en qué consiste la formación de la imagen.

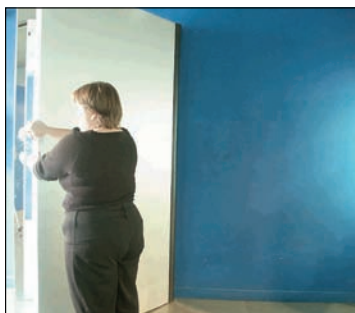
Para que se forme la imagen de un objeto, los rayos emitidos por cada punto de dicho objeto deben confluir en un único punto. No es imprescindible aunar todos los rayos; basta con reunir un haz.

Si dichos rayos confluyen “realmente” en un punto del espacio -tal como sucede cuando se reflejan en un espejo cóncavo, si se coloca el objeto en determinados lugares (analizaremos este fenómeno más adelante)-, la imagen es real: si se coloca una pantalla en dicho punto, la imagen se ve en ella. El proyector de diapositivas es un sencillo ejemplo de dicho fenómeno: se forma en la pantalla una imagen real de la diapositiva (mayor que ésta y en posición inversa), si se coloca la pantalla en el lugar adecuado y se enfoca correctamente.

Por el contrario, si la imagen es virtual, los rayos emitidos desde un punto no confluyen en un punto del espacio: el haz de rayos penetra en el ojo, y éste lo concentra en un punto, en la retina. Dicha imagen no puede ser proyectada en una pantalla. Es el caso, por ejemplo, de las imágenes reflejadas por un espejo plano.

# • Módulo: Multiplícate.

**Durante la visita**  
(en el Museo)



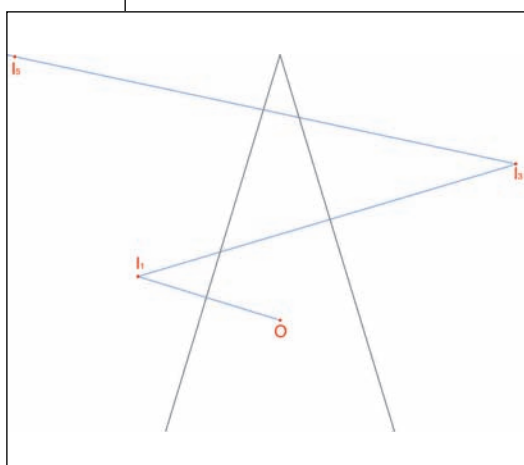
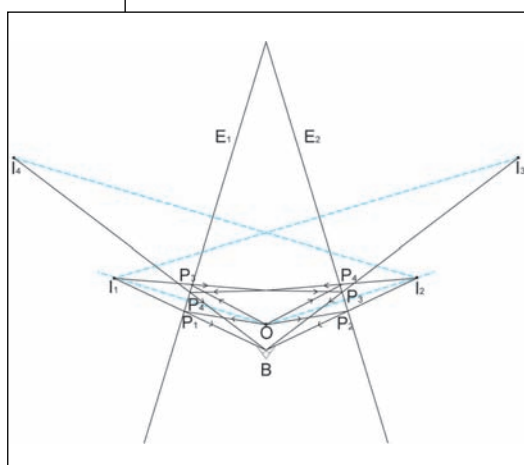
## ¿Qué ha ocurrido?

Si el ángulo existente entre los dos espejos es superior a  $90^\circ$ , el alumno verá únicamente dos imágenes de sí mismo, una por cada espejo (detrás del mismo, para ser más precisos).

Pero el número de imágenes va aumentando (cuatro, seis...) a medida que se cierran los espejos y se reduce el ángulo existente entre los mismos. He aquí el porqué de dicho comportamiento: si el ángulo existente entre los dos espejos es pequeño, el ojo percibe más de un rayo procedente del objeto (el propio alumno), una vez reflejados una, dos, tres... veces en los espejos. El siguiente croquis nos muestra la trayectoria de los rayos.

Para evitar confusiones, hemos diferenciado el punto B (el ojo del alumno) y el punto O (el objeto). Cualquier elemento situado ante los ojos del alumno (su propia nariz, un dedo...) puede servir como objeto.  $E_1$  y  $E_2$  son los dos espejos, colocados en un ángulo de  $30^\circ$ . Las líneas de puntos unen el objeto con sus imágenes; las líneas continuas, por su parte, corresponden a los rayos de luz. El alumno observa cuatro imágenes del punto O en el citado croquis: las más fáciles, las que se ven siempre, son  $I_1$  e  $I_2$ , ya que son visibles tras una única reflexión, aun siendo grande el ángulo existente entre los espejos. Por el contrario, se necesitan dos reflexiones para que  $I_3$  e  $I_4$  sean visibles.

Analicemos el fenómeno caso por caso:



-  $I_1$ : el rayo  $OP_1$  produce el rayo  $P_1B$  tras reflejarse en el espejo  $E_1$ . Puesto que dicho rayo procede, al parecer, del punto  $I_1$ , el ojo ve la imagen del punto O en el punto  $I_1$ .

-  $I_2$ : el rayo  $OP_2$  produce  $P_2B$  tras reflejarse en el espejo  $E_2$ . Puesto que dicho rayo procede, al parecer, de  $I_2$ , el ojo ve la imagen del punto O en el punto  $I_2$ .

-  $I_3$ : la imagen  $I_3$  es la imagen de la imagen de  $I_1$  reflejada en el espejo  $E_2$ ; el rayo  $OP_3$  se refleja en el espejo  $E_1$  y produce el rayo  $P_3P_3'$ , que se refleja a su vez en el espejo  $E_2$  y produce el rayo  $P_3'B$ . Puesto que dicho rayo procede, al parecer, de  $I_3$ , el ojo ve la imagen de  $I_1$  (y, por tanto, también la de O) en  $I_3$ .

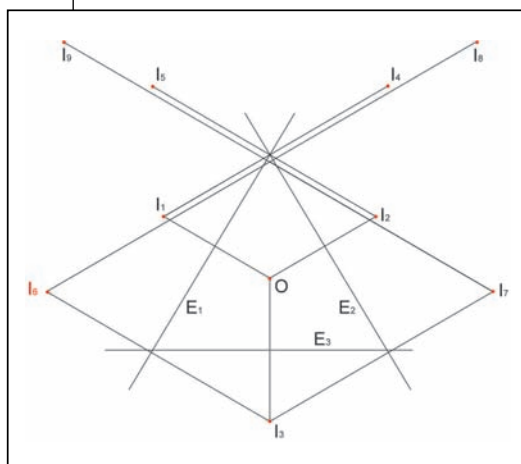
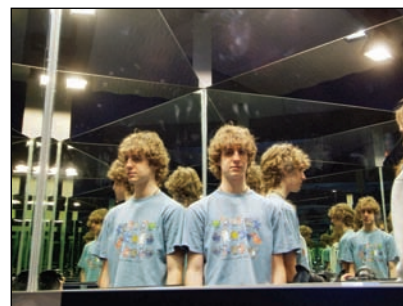
-  $I_4$ : la imagen  $I_4$  es la imagen de la imagen de  $I_2$  en el espejo  $E_1$ ; el rayo  $OP_4$  se refleja en el espejo  $E_2$  y produce el rayo  $P_4P_4'$ , que se refleja a su vez en el espejo  $E_1$  y produce el rayo  $P_4'B$ . Puesto que dicho rayo procede, al parecer, de  $I_4$ , el ojo ve la imagen de  $I_2$  (y, por tanto, también la de O) en  $I_4$ .

El proceso es aplicable también a  $I_5$  (la imagen de  $I_3$  en el espejo  $E_1$ ) y a  $I_6$  (la imagen de  $I_4$  en el espejo  $E_2$ ), trazando las líneas de puntos y dibujando los rayos procedentes de O llegando a B desde  $I_5$  e  $I_6$  tras reflejarse tres veces en los espejos.

En resumen: si el ángulo que forman los espejos es pequeño, la imagen  $I_1$  de un objeto real  $O$  (del propio alumno) produce (mediante el primer espejo) la imagen  $I_2$  en el segundo espejo, que, a su vez, produce otra imagen ( $I_3$ ) en el primer espejo... Nuestros ojos captan todas las imágenes, puesto que reciben los rayos supuestamente procedentes de dichas imágenes. El siguiente croquis nos ofrece la representación gráfica del proceso.

La explicación que acabamos de ofrecer es, probablemente, la más apropiada para los alumnos de ESO, ya que difícilmente comprenderían el proceso sin las trayectorias de los rayos y su representación gráfica.

Resulta complicado seguir la trayectoria de los rayos en la formación de imágenes con dos espejos. Obviamente, con tres espejos aumenta la complejidad del proceso. Así pues, utilizar el último razonamiento parece el método más adecuado. El alumno deberá formar las imágenes en los tres espejos (no podrá ver, sin embargo, la que se produce en el espejo trasero), cada una de las cuales formará -a su vez- imágenes en los otros dos espejos (no podrá ver, sin embargo, las que se producen en el espejo trasero).



Continuando con este proceso se crea una gran cantidad de imágenes, tal como sucede en la realidad al utilizar tres espejos.

El croquis nos muestra algunas de las imágenes.  $I_1$  es la imagen de  $O$  en el espejo  $E_1$ ;  $I_2$  es la imagen de  $O$  en el espejo  $E_2$ ;  $I_3$  es la imagen de  $O$  en el espejo  $E_3$ . El alumno no puede ver  $I_3$  (está detrás de él), pero sí, probablemente,  $I_6$  e  $I_7$  (las imágenes de  $I_3$  en los espejos  $E_1$  y  $E_2$ ), y puede ver las imágenes de dichos espejos ( $I_8$  e  $I_9$ ). Tenemos, además, a  $I_4$  e  $I_5$ , las imágenes de  $I_1$  e  $I_2$ . Y pueden dibujarse más, ya que pueden verse. Las imágenes de  $I_1$  e  $I_2$

-por ejemplo- no podrán ser vistas en el espejo  $E_3$ , puesto que están detrás del alumno. Sí podrá ver, en cambio, dichas imágenes en los otros dos espejos. Basta con entrar en el prisma de espejos para percatarse de la multitud de imágenes existente.

## Después de la visita (de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

○ ¿Por qué han aparecido numerosas imágenes de ti en ambos módulos, al igual que le sucediera a Dayoub en el cuento, si en uno de los módulos había dos espejos y en el otro tres?

La explicación más adecuada para los alumnos de ESO es, a nuestro parecer, la siguiente: además del objeto real (alumno), también sus imágenes actúan como objetos y forman imágenes de imágenes, y éstas, a su vez, más imágenes..., hasta alcanzar una cantidad considerable de las mismas, especialmente en el caso de los tres espejos.

# • Módulo: Espejo antigraavedad.

**Durante la visita**  
(en el Museo)

## ¿Qué ha ocurrido?

No resulta fácil comprender y “ver” cómo se forma la imagen en estos dos espejos colocados perpendicularmente entre sí. La mitad visible del cuerpo tiene, obviamente, su imagen correspondiente en el espejo pequeño (en la parte trasera del mismo). Pero, ¿y la otra mitad?



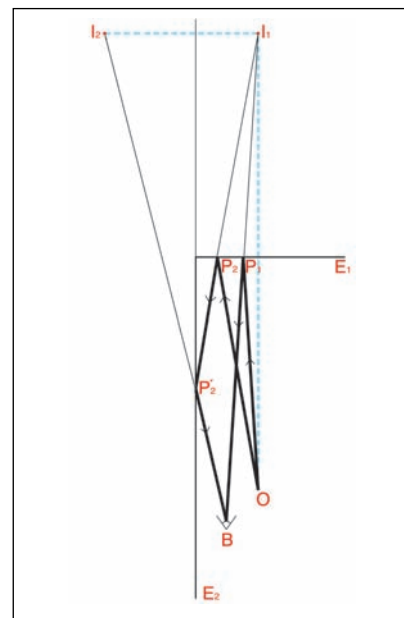
Dicha imagen es la correspondiente a la imagen formada detrás del espejo pequeño situado enfrente, es decir, la formada en el espejo grande lateral. Así pues, la mitad visible del cuerpo produce una imagen en el espejo pequeño; esta, a su vez, produce una imagen en el espejo grande. Las dos mitades del cuerpo son, por tanto, la misma: la mitad derecha visible. Si levantamos la pierna derecha (manteniéndonos sobre la izquierda, claro está), parece que hemos levantado ambas.

El siguiente croquis nos muestra las posiciones de las imágenes y las trayectorias de los rayos.

Al igual que en el anterior ejercicio, hemos diferenciado el objeto -el punto O- y el ojo -el punto B-. El objeto puede ser, por ejemplo, la mano abierta del alumno. Las líneas de puntos unen el objeto y la imagen de este; las líneas continuas, por su parte, son los rayos.

$I_1$  es la primera imagen, la “habitual”, reflejada por el espejo  $E_1$ , situado enfrente. Dicha imagen se encuentra ahí porque el rayo  $OP_1$  produce -tras reflejarse en el espejo-  $P_1B$ , y porque éste, a su vez, parece provenir de  $I_1$ .

$I_2$ , por su parte, es la imagen de  $I_1$ , reflejada por el espejo lateral  $E_2$ . El ojo ve la imagen ahí porque el rayo  $OP_2$  -una vez reflejado en el espejo  $E_1$  y creado el rayo  $P_2P_2'$ - se refleja en el espejo  $E_2$ , produciendo el rayo  $P_2'B$ , y porque éste parece provenir de  $I_2$ .



En ESO puede ser más apropiado soslayar las trayectorias de los rayos y manifestar lo siguiente: el objeto produce una imagen mediante el espejo  $E_1$ , que produce, a su vez, otra imagen mediante el espejo  $E_2$ . Ambas imágenes conforman el cuerpo entero.

A continuación, utilizaremos el espejo grande para demostrar que la imagen se forma “realmente” tras el mismo. Intentaremos, a tal fin, dar la mano a la persona situada ante el espejo, así como a su imagen.

## Después de la visita (de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué tu cuerpo se ha reflejado “entero” en los espejos, si solamente se hallaba visible la mitad del mismo?

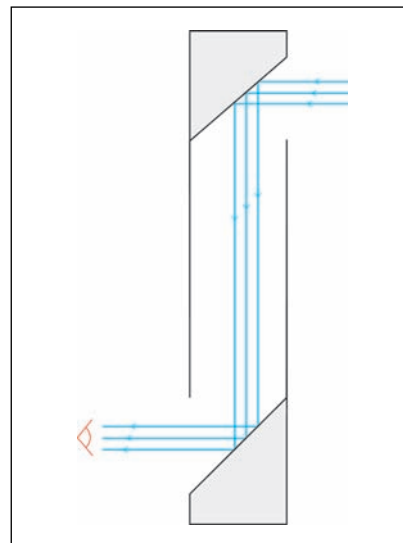
La respuesta es similar a la anterior: la imagen de la mitad visible del cuerpo - formada por el espejo de enfrente- se ha convertido en objeto para el espejo lateral, que, a su vez, ha formado la imagen de aquel (la otra mitad). Pero, en realidad, se trata de la misma mitad del cuerpo, simétricamente repetida.

❷ En el segundo de los experimentos no has podido estrechar la mano de la imagen de tu compañero. ¿Por qué? ¿Dónde se encontraba dicha imagen?

Se trata de una imagen virtual formada por el espejo plano. Dicha imagen se encuentra detrás del espejo, motivo por el cual no ha sido posible estrechar la mano de la imagen: no es una imagen real. Un experimento muy apropiado para corroborar los argumentos expuestos en clase.

❸ Muestra -mediante un croquis- la trayectoria de los rayos de luz en el interior del periscopio. Explica por qué este aparato nos permite ver objetos situados por encima de nosotros.

La explicación es muy simple: los rayos, una vez reflejados en los dos espejos colocados en ángulo de 45°, llegan hasta nuestros ojos. Observa el gráfico.



## • Módulo: Espejo cóncavo.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

Este espejo cóncavo nos demuestra lo que normalmente se aprende en teoría: si un objeto se coloca a diferentes distancias de los espejos cóncavos, la imagen se forma en lugares y de maneras diferentes. He aquí las distintas opciones:

- Si el objeto se coloca entre el espejo y el foco, la imagen es virtual, derecha, parece estar tras éste y su tamaño es mayor que el del objeto (cuanto más cerca del foco esté el objeto, mayor será el tamaño).
- Si se coloca el objeto justo encima del foco, no se produce imagen alguna.
- Si se coloca el objeto entre el foco y el centro del espejo, la imagen es real, invertida, se produce más atrás que el objeto (cuanto más cerca del foco esté el objeto, más lejos se forma la imagen) y su tamaño es mayor que el del objeto (cuanto más lejos del foco esté el objeto, menor será su tamaño).
- Si se coloca el objeto en el centro del espejo, la imagen es real, invertida, se produce en el propio foco y es del mismo tamaño que el objeto.
- Por último, si se coloca el objeto más lejos que el centro del espejo, la imagen es real, invertida, se forma delante del objeto (cuanto más lejos del foco esté el objeto, más lejos se forma la imagen) y su tamaño es menor que el del objeto (cuanto más lejos del centro esté el objeto, menor será su tamaño).

Todas estas opciones pueden ponerse en práctica en el espejo cóncavo del Museo. Es preferible que quien vaya a observar las imágenes se coloque en la parte de atrás y que se utilice como objeto a un compañero, por ejemplo. El foco del espejo se encuentra -aproximadamente- a 80 cm; el centro, por tanto, está a 160 cm.

Si el compañero se sitúa cerca del espejo y va retrocediendo poco a poco, podrán verse desde atrás todas las opciones citadas. Cuando se produce una imagen real, no se puede ver dicha imagen en una pantalla (una hoja de papel blanco, por ejemplo), porque el Museo debería estar completamente a oscuras para que la imagen pudiera verse.



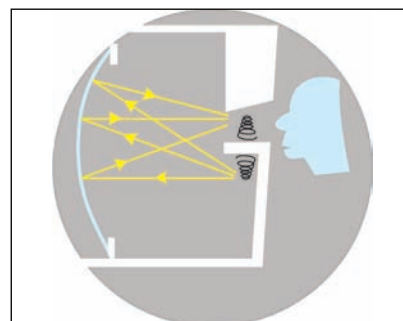
## • Módulo: Agárralo como puedas.

### Durante la visita (en el Museo)

#### ¿Qué ha ocurrido?

Dentro de esa caja negra hay un espejo cóncavo, así como un muelle auténtico. Ambos objetos están ocultos a la vista. Lo que se ve (mediante un espejo) es, por tanto, una imagen real del muelle.

Dado que la imagen es real, ésta puede verse en el espacio sin ver el espejo, como si se tratara de un objeto real, ya que el ojo hace confluir en la retina los haces de luz emitidos por esa imagen surgida del "aire", tal como sucede cuando vemos un objeto. Para que dicha imagen pueda verse con nitidez, los objetos deben estar muy bien iluminados, mientras que todo su entorno debe permanecer a oscuras (como en las cajas negras, por ejemplo).



### Después de la visita (de nuevo en clase)

#### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué no se puede coger el muelle?

Como señalábamos antes, porque el muelle que se ve es una imagen real del auténtico muelle, formada por el espejo cóncavo que permanece oculto a la vista.

## • Módulo: Espejos para perderse.

### Durante la visita (en el Museo)

#### ¿Qué ha ocurrido?

El laberinto es realmente bonito. Los ángulos que forman los espejos nos muestran un camino aparentemente despejado, pero que en realidad no lo está. Los alumnos deben moverse con cuidado y lentamente para evitar chocar con los espejos y, por consiguiente, sufrir lesión alguna.

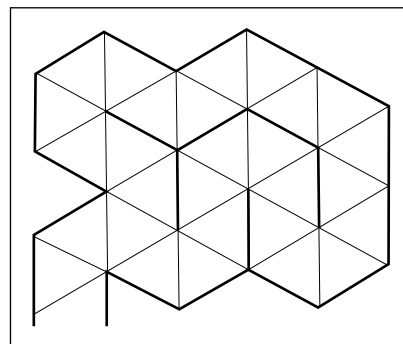


Dejar que los alumnos se “pierdan” en el laberinto es, probablemente, lo más acertado: primero, que disfruten; a continuación, que hagan el croquis. El camino se encuentra fácilmente mirando al techo o al suelo, ya que tanto en uno como en otro se ven los bordes de los espejos.

El croquis nos muestra la disposición de los espejos y el recorrido efectuado.

Puesto que todos los espejos están colocados de manera que forman ángulos de  $60^\circ$  o  $120^\circ$ , los espejos y las líneas dibujadas en el suelo forman triángulos equiláteros.

Mirar a dichos triángulos es el modo más sencillo para realizar el croquis del camino del laberinto.



### Después de la visita (de nuevo en clase)

#### ¿Por qué ha ocurrido?

○ Dibuja un croquis de tu recorrido por el interior del laberinto. ¿Cómo están colocados los espejos?

Todos los espejos están colocados de manera que forman un ángulo de  $60^\circ$  o de  $120^\circ$ . Por consiguiente, los espejos y las líneas dibujadas en el suelo forman triángulos equiláteros.

## 2 La propagación de la luz al cambiar de medio

Los alumnos de ESO apenas tienen nociones básicas sobre la refracción, por lo que hemos preferido no hacerles preguntas sobre el tema.

## • Módulo: La cara oculta.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

Como decíamos en la introducción, cuando la luz cambia de medio, una parte se refracta en el segundo medio; otra parte, por el contrario, se refleja en la superficie divisoria de ambos medios. Este fenómeno es más evidente si la luminosidad es intensa en el primer medio. El presente módulo explica con claridad el fenómeno.



Si pulsando el botón de la izquierda uno de los lados queda iluminado con intensidad intermedia y el otro con muy baja intensidad, la persona situada en el segundo de los lados apenas podrá verse a sí misma. En cambio, puede ver a su amigo en el cristal. Si se pasa a una luminosidad intermedia, ambas imágenes (la suya, reflejada, y la de su compañero, en el cristal) se mezclan. En cambio, si selecciona mayor luminosidad de su lado, verá -sobre todo- su propia imagen reflejada. Es el momento de apagar un foco pulsando el botón de la derecha y de volver a la situación anterior.

**Después  
de la visita**  
(de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Qué condiciones deben darse para que la intensidad de la luz reflejada sea mayor o menor? En otras palabras ¿cuándo actúa el cristal vertical frontal como “espejo”, y cuándo como “cristal”?

Cuando la intensidad de luz ha sido mayor en su lado que en el otro, el alumno ha visto reflejada su propia imagen; cuando ha sido menor, por el contrario, ha visto la imagen su compañero.

❷ ¿Se reflejaba toda la luz al funcionar como espejo? ¿No pasaba luz al otro lado?

Cuando el alumno veía su propia imagen reflejada -cuando el cristal funcionaba como “espejo”- su compañero del otro lado también podía verle. Por tanto, parte de la luz se reflejaba, mientras que otra pasaba al otro lado.

❸ Al dibujar la segunda cruz, veías al mismo tiempo la cruz dibujada anteriormente y la dibujada sobre aquélla. ¿Por qué?

Porque la dibujada en primer lugar se estaba reflejando en el cristal, mientras que la que se estaba dibujando ahora pasaba al otro lado.

❹ ¿Dónde has dibujado la segunda cruz para que se superpusiera a la primera? ¿Dónde has visto la imagen de la primera cruz mediante el “cristal-espejo”?

Excelente oportunidad para demostrar que la imagen formada en el espejo plano se encuentra detrás de aquél, puesto que en este caso podemos atravesar el espejo y pasar a su parte de atrás (el espejo es, no lo olvidemos, cristal). Por otra parte, queda muy claro que la imagen de la primera cruz se ve detrás del espejo, ya que es ahí donde se superpone la segunda cruz.

## • Módulo: Ángulo crítico.

### Durante la visita (en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

Cuando el rayo de luz pasa del agua al aire ( $n_1 > n_2$ , y, por tanto,  $\sin r > \sin i$ , y, por tanto,  $r > i$ ), se aleja de la normal. Según aumenta el ángulo de incidencia, podemos observar que una parte de la luz se refleja y otra se refracta. Al superar el ángulo crítico, ya no se produce refracción: toda la luz se refleja, la reflexión es total.



Si elevamos la fuente, la luz pasa del aire al agua ( $n_1 < n_2$ , y, por tanto,  $\sin r < \sin i$ , y, por tanto,  $r < i$ ) y el rayo va aproximándose hacia la normal. Si al llegar arriba  $i = 0^\circ$ , no se produce refracción, como fácilmente se deduce aplicando la ley de Snell.

En ESO, obviamente, no podemos explicarlo así, por lo que proponemos la observación del fenómeno, sin añadir explicaciones. Es decir, ver que los rayos de luz se desvían cuando cambian de medio (parte de los rayos, ya que otra parte se refleja, tal como señalábamos en el módulo anterior) y, en ocasiones, si el ángulo es el adecuado, se produce la reflexión total, sin refracción alguna.

## • Módulo: Tubería de luz.

### Durante la visita (en el Museo)

#### ¿Qué ha ocurrido?

Debe subrayarse, en primer lugar, que la luz se dispersa en el líquido, motivo por el que se ve el rayo desde su fuente hasta la entrada en el chorro, ya que la luz se refleja en algún elemento (en las partículas existentes en el interior del líquido).



De no ser así, no podría verse, puesto que la luz no se ve. Este mismo fenómeno es el que se produce en las salas de cine: si hay en el aire partículas (humo, polvo...) en las que reflejarse, los rayos de luz que van del proyector a la pantalla se vuelven visibles; si no hay tales partículas, no ocurre así.

Una vez introducido el rayo de luz en el chorro de líquido, no vuelve a salir: El rayo se desplaza por el interior del líquido y, tras atravesar el orificio (dentro ya del chorro) tropieza con la superficie divisoria del aire y del líquido, con la "pared" del chorro. Pero, puesto que su ángulo es superior al ángulo crítico, no se refracta, no sale del chorro: la reflexión es total. Tras la reflexión, se produce el mismo fenómeno, al retornar el rayo al otro lado del chorro: reflexión total, una y otra vez, hasta llegar abajo y reflejarse en el espejo allí existente. La trayectoria del rayo en el interior del chorro puede observarse agachándose y mirando por debajo, ya que la luz continúa dispersándose en el líquido.

Esta explicación no es válida para ESO, puesto que los alumnos desconocen el concepto de ángulo crítico. Nos limitaremos, por tanto, a decir que el ángulo con el que incide el rayo de luz en la pared del chorro es el adecuado para que tenga lugar la reflexión total.

### Después de la visita (de nuevo en clase)

#### ¿Por qué ha ocurrido?

○ ¿Por qué no han salido los rayos de luz del chorro de líquido?

Porque el ángulo que llevan al chocar con la "pared" del chorro de líquido es el apropiado para que se produzca una y otra vez la reflexión total, hasta llegar al espejo de la parte inferior.

### 3 Otro modo de **crear imágenes.**

#### ► **Recuerda**

A nuestro entender, cuando los alumnos de ESO llegan al Museo tienen escasos conocimientos sobre los conceptos que se utilizan en este subapartado. Habrán oído -obviamente- hablar de las lentes, pero no de sus características, ya que dichos conceptos no forman parte de los planes de estudios habituales en la ESO.

Por esta razón, en lugar de hacerles preguntas hemos optado por ofrecer información a los estudiantes, información necesaria para que puedan entender sin problemas lo que sucede en los módulos del Museo.

En el caso de que los alumnos hubieran utilizado ya dichos conceptos, pueden plantearse las preguntas de la guía de Bachillerato (las del apartado *Recuerda*).

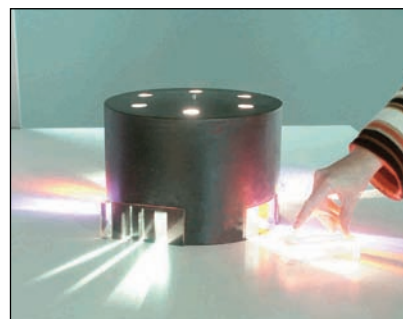
Por otra parte, no nos ha parecido apropiado -por idénticos motivos- pedir a los alumnos que formulen hipótesis sobre lo que creen que sucederá en los módulos.

## • **Módulo: Caminos de luz.**

### **Durante la visita** *(en el Museo)*

#### **¿Qué ha ocurrido?**

La función de este módulo es observar los cambios de dirección de los rayos tras atravesar estos diversos elementos ópticos. Para ello conviene colocar los elementos perpendicularmente a los rayos.



Un elemento plano por ambas caras no desvía los rayos de manera apreciable, ya que salen en la misma dirección en la que entraron. Si la superficie del elemento se coloca perpendicular a los rayos, estos salen tal como entraron. Si la superficie se coloca oblicua a los rayos (formando ángulo), estos salen sin haber modificado su dirección, pero con un desplazamiento lateral. De todos modos, el desplazamiento es casi imperceptible, dado el escaso grosor del elemento.

La lente convergente es un elemento con un lado convexo, por lo que hace confluir todos los rayos en un punto, especialmente si entran por el lado plano. Dicho punto no es el foco, puesto que los rayos no han entrado paralelamente, pero no está lejos de él.

La lente divergente, por su parte, es un elemento con un lado cóncavo. Esta lente separa los rayos como si vinieran de un solo punto. Este fenómeno se observa con claridad si los rayos entran por el lado plano. Tampoco dicho punto es el foco de la lente divergente, puesto que los rayos no han entrado paralelamente.

### **Después de la visita** *(de nuevo en clase)*

#### **¿Por qué ha ocurrido?**

❶ ¿Se han desviado los rayos de luz al colocar ante estos un elemento plano por ambas caras?

Los rayos no se han desviado. El motivo, claro está, es que han entrado perpendicularmente. El cambio de medio no conlleva el cambio de dirección cuando los rayos entran perpendicularmente a la superficie divisoria de ambos medios. Este tema fue estudiado por los alumnos en el módulo *Ángulo crítico*.

❷ ¿Y cómo se han desviado los rayos al colocar ante estos un elemento plano por un lado y convexo por el otro? ¿A qué tipo de lente nos estamos refiriendo? Los rayos han confluído en un punto. Por tanto, el citado elemento es una lente convergente.

❸ ¿Y cómo se han desviado los rayos al colocar ante estos un elemento plano por un lado y cóncavo por el otro? ¿A qué tipo de lente nos estamos refiriendo? En este caso, los rayos se han dispersado. Por tanto, el citado elemento actúa como una lente divergente.

❹ ¿Por qué han desviado los rayos los últimos dos elementos citados y no lo ha hecho el que es plano por las dos caras, si todos ellos están hechos del mismo plástico?

Por la misma razón que acabamos de citar. Una de las caras de los dos últimos elementos citados es curva (cóncava o convexa); no está, por tanto, perpendicularmente ubicada con respecto a los rayos que recibe. Por consiguiente, los rayos se refractan, se desvían.

# • Módulo: Lupa gigante.

## Durante la visita (en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

Contamos en este módulo con un elemento óptico de gran tamaño que actúa a modo de lupa. No decimos que se trate de una lente convergente, ya que no siempre funciona como tal. La imagen que produce (virtual, derecha y mayor que la original) cuando el objeto se halla cerca del elemento óptico (según la teoría, entre el foco y la lente) es similar a la que forma una lente. Pero a medida que se aleja el objeto (acercándolo al hipotético foco, sobrepasándolo y colocándolo más lejos que aquél) no se forman las imágenes que una lente debería producir. Si se acerca al foco, la citada imagen (virtual, sin invertir) no va aumentando de tamaño, y, a continuación, si se aleja el objeto del foco para que disminuya su tamaño, la imagen no se convierte en real, invertida y de mayor tamaño.

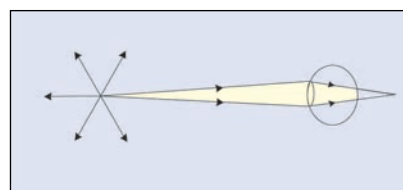


## Después de la visita (de nuevo en clase)

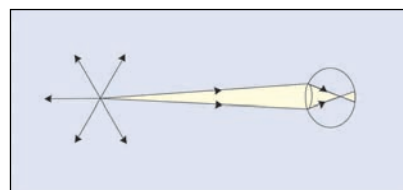
### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Cómo solucionan dichos problemas las gafas o lentes? ¿Qué tipo de lentes necesitan los miopes y los hipermetropes? ¿Cuál es la función de dichas lentes?

Los hipermetropes necesitan lentes que cierren el haz de rayos; es decir, lentes convergentes, ya que el ojo no permite cerrar lo suficiente para aunar los rayos de luz en la retina.



Los miopes, por el contrario, necesitan lentes divergentes que abran los haces de luz antes de que lleguen a sus ojos -de manera que compensen el cierre excesivo de estos- y los hagan confluír sobre la retina.



❷ Coloca un dedo ante tus ojos, a unos 25 cm de distancia (no más cerca), mientras tapas un ojo con la otra mano. Mira con atención, de manera que puedas distinguir tus huellas digitales. ¿Cómo ves los objetos que se encuentran unos metros más allá del dedo?

❸ A continuación, fija la vista en uno de dichos objetos que hay unos metros detrás de ti. ¿Cómo ves el dedo colocado ante ti?

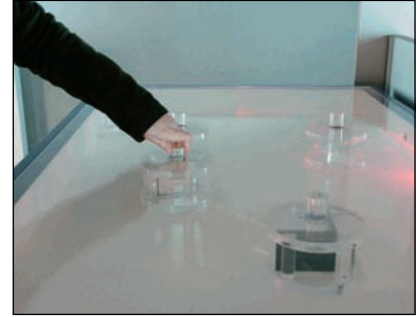
Este sencillo experimento es suficiente para que los alumnos comprendan lo siguiente: los objetos se enfocan con el cristalino del ojo; asimismo, el cristalino se adapta continua y rápidamente, sin que nos demos cuenta, cuando miramos un objeto, mientras el resto de objetos quedan desenfocados.

## • **Módulo: Prismas y espejos.**

**Durante  
la visita**  
*(en el Museo)*

### **¿Qué ha ocurrido?**

No es fácil dirigir el láser hacia el círculo marcado -ya que la ubicación de algunos elementos exige un riguroso ajuste-, pero, tras numerosos intentos, se consigue. Cabe subrayar que en el primer elemento (el prisma) se ven perfectamente los rayos que se refractan y reflejan en todas las direcciones.



# 4 Haciendo y deshaciendo la luz.

Una vez analizada la propagación de la luz (reflexión, refracción) en el primer apartado, estudiaremos otras de sus características en el segundo: el color, por una parte; por otra, diversas propiedades (la polarización y las interferencias) debidas a la naturaleza ondulatoria de la luz.

## ► Recuerda

Probablemente, los alumnos apenas sepan qué es la suma y la resta de colores. Por eso, aunque en el Museo se trabaja adecuadamente el tema, con objeto de facilitar la tarea, hemos preferido ofrecer nosotros mismos las explicaciones iniciales.

## • Módulo: Paisajes de colores.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?



Los alumnos pueden observar la espectacular dispersión de la luz a la entrada del Museo, en el módulo existente en el *Jardín de los elementos*.

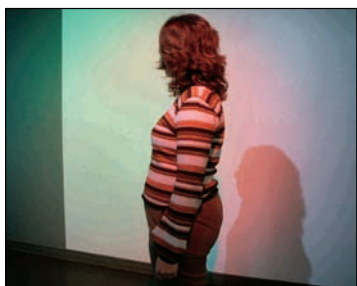
Al pasar de un medio a otro (del aire al vidrio, en este módulo), la luz -al igual que el resto de las ondas- sufre cambios de dirección debidos al cambio de velocidad; es decir, se refracta. Pero no todas las longitudes de onda se propagan a la misma velocidad en el vidrio -hay algunas pequeñas diferencias-, por lo que no se desvían de idéntica manera. La mayor longitud de onda -la correspondiente al color rojo- es la que menos se desvía; la menor longitud de onda -el morado-, la que más. Si la luz ha efectuado un recorrido considerable a lo largo del vidrio (es el caso del presente módulo), la desviación es manifiesta. Por consiguiente, la luz blanca se dispersa en colores a la salida del vidrio. Si se dirigen los rayos solares al suelo tras salir del prisma, el espectro de los colores se hace allí visible.

Esta explicación no es -probablemente- muy adecuada para los alumnos de ESO, ya que desconocen en qué consisten las ondas y cuáles son sus magnitudes básicas. Basta, por el momento, con explicarles que la luz blanca se descompone en colores al atravesar el vidrio.

Los alumnos preferirán, sin duda alguna, mirar directamente a través del prisma, ya que los objetos situados al otro lado se descomponen en colores. Aquella pared clara, ese trozo de cielo que se ve entre las hojas de los árboles... forman bellas combinaciones de colores.

## • Módulo: Sombras de colores.

### Durante la visita (en el Museo)



### ¿Qué ha ocurrido?

Analizaremos en este módulo la suma de colores. Tres focos con los colores básicos de la luz iluminan una pared blanca. La combinación de los tres colores produce luz blanca en la citada pared. Obviamente, la pared aparece de color blanco, pero solamente en su zona central, donde la luz de los tres focos confluye de forma similar. En los márgenes, por el contrario, es visible la intensidad del foco más cercano, por lo que la luz tiende a adoptar el color de aquél.

Si se apaga un foco, se combinan dos de los colores y se crean otros colores secundarios. Si se enciende sólo un foco, en cambio, la pared adquiere el color de la luz de dicha fuente.

Si un alumno se sitúa (de pie) entre los tres focos y la pared, aparecen en ésta tres zonas sombreadas. Cada una de dichas sombras es el resultado de la combinación de la luz de dos focos, ya que la de la tercera no llega a la pared, debido a que el alumno se interpone en la zona de sombra. La apariencia sombreada de las citadas zonas se debe a que su iluminación es más débil que en los márgenes de la pared (sigue siendo de color blanco), ya que en aquéllas se concentra la luz de dos focos. En las zonas blancas, por el contrario, la de los tres focos.

La sombra producida por la combinación de luz roja y verde es amarilla; la producida por la de luz verde y azul, cian; por último, la producida por la combinación de luz roja y azul, magenta. Las sombras son, por tanto, de los tres colores denominados secundarios.

### Después de la visita (de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Qué son las sombras? ¿Cómo se producen?

La sombra es el lugar donde no llega la luz. Los puntos que conforman la sombra no reciben luz. Hablamos, claro está, de una sombra total (la que forman los objetos de una habitación completamente a oscuras al ser iluminada por la luz de una linterna, por ejemplo). Las sombras a las que nos referimos en este módulo, por el contrario, son parciales: los objetos reciben la luz de dos de los focos, pero no la del tercero. La intensidad de luz es menor en dichas zonas que en las colindantes, ya que éstas reciben la luz de los tres focos. Por eso percibimos la sombra.

❷ ¿Por qué se veía de color blanco el disco multicolor mientras giraba?

Mientras el disco gira, las luces que se reflejan en diversos colores (las luces de dichos colores) confluyen y se superponen en la retina del ojo, dando como resultado el blanco. Cuando el disco está parado, en cambio, la luz correspondiente a cada color se dirige a una zona de la retina, ya que penetran en el ojo en diferentes direcciones, y no se suman.

❸ ¿Eran imprescindibles los siete colores del arcoiris? ¿No era posible lograr el mismo efecto pintando el disco con menos colores?

No eran imprescindibles: hubiera bastado con pintar el disco con los tres colores básicos. Pero la suma de colores resulta más difícil si solamente se pintan de rojo, verde y azul tres sectores, ya que, al ser estos mayores, el disco debe girar a mayor velocidad para lograr el efecto.

## • Módulo: Resta de colores.

### Durante la visita (en el Museo)

#### ¿Qué ha ocurrido?

En este módulo, por el contrario, estudiaremos la resta de colores. El filtro colocado en la trayectoria de la luz absorbe alguno de los colores de la luz blanca, dejando pasar al resto. En el caso del amarillo, por ejemplo, nuestros ojos ven el filtro de dicho color porque refleja el rojo y el verde y absorbe el azul. Al pasar por el filtro, la luz blanca pierde el azul y la pared del otro lado se ve de color amarillo, debido a la combinación del rojo y el verde. Dicha pared es "blanca", es decir, refleja toda la luz que recibe, motivo por el que la vemos del citado color. Idéntico proceso se produce con los filtros de color cian y magenta.



Al tratarse de filtros de colores secundarios, cada uno de ellos absorbe un color básico. Si se combinan dos filtros entre sí, absorben dos colores básicos, mientras que el tercero atraviesa el filtro y se hace visible en la pared. La combinación de filtro amarillo y filtro magenta, por ejemplo, provoca la absorción del azul y del verde, por lo que únicamente llega a la pared el color rojo. Otro tanto sucede con las otras dos posibles combinaciones de colores. Por último, si se combinan los tres filtros, son absorbidos los tres colores básicos y no pasa la luz. La pared del otro lado, por consiguiente, se ve de color negro (oscura, más bien, ya que recibe algo de luz ambiental procedente del resto de los focos de la habitación).

### Después de la visita (de nuevo en clase)

#### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué vestimos -por lo general- ropa clara en verano y oscura en invierno? También en los países muy cálidos (en los trópicos, por ejemplo) la gente suele vestir con ropas claras. ¿Por qué?

La ropa de color blanco refleja toda la luz que recibe; la de color claro, casi toda. La de color oscuro, por el contrario, absorbe la mayor parte de luz que recibe y apenas refleja nada. La ropa de color negro, no refleja la luz. Por tanto, la ropa negra absorbe más energía y da mayor sensación de calor. La ropa clara, obviamente, es más apropiada para los días calurosos.

## 5 Otras características de la luz.

### ► Recuerda

La interferencia de ondas o la polarización son conceptos apenas conocidos para los alumnos de ESO. Es probable que ni tan siquiera sepan con exactitud en qué consisten las ondas. Por tanto, hemos soslayado las preguntas iniciales sobre el tema y nos hemos limitado a una sencilla exposición de conceptos.

## • Módulo: Burbujas de colores.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

Cuando se forma la burbuja de jabón, ésta recibe la luz de su entorno. La burbuja, por muy delgada que sea, cuenta con una superficie interior y otra exterior. Cuando la luz llega a la superficie exterior, parte de ella se refleja y parte pasa al interior de la burbuja -se refracta-, tal como sucede en el módulo *La cara oculta*.

Al llegar la luz a la superficie interior de la burbuja se produce el mismo fenómeno: una parte se refleja y vuelve al exterior; y otra parte, por el contrario, pasa al interior.

Así pues, dos partes de la luz que incide en la burbuja se reflejan (en la superficie exterior e interior) y ambas se superponen cuando se dirigen a nuestro ojo: se ha producido una interferencia.

Las longitudes de onda no han sufrido cambios de fase en la parte reflejada en el exterior; ya que la onda se ha desplazado por el aire en todo momento. La parte reflejada en la superficie interior, en cambio, se ha desplazado a través del jabón. Puesto que las longitudes de onda se propagan a distinta velocidad en el citado medio, se han producido cambios de fase entre los colores. Por consiguiente, las ondas correspondientes a algunos colores se han unido -según el grosor de la membrana de la burbuja (suele ser de varios micrómetros)- al interferir con parte de la otra onda. Las correspondientes a otros colores, por el contrario, se han anulado. He ahí por qué algunos colores se ven reflejados en las burbujas, y otros no.

Esta explicación resulta excesivamente compleja para los alumnos de ESO, por lo que hemos optado por adecuar algunos de los conceptos e incluirlos en el material destinado a los estudiantes, una vez explicados los conceptos de onda y de interferencia.



## • Módulo: Hologramas.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

El procedimiento para hacer hologramas y la teoría que lo sustenta están lejos de los conocimientos de los alumnos de ESO, dada la complejidad de la materia. No hemos explicado, por ejemplo, en qué consiste una onda coherente, o por qué debe ser coherente la luz que se utiliza para producir hologramas. Nos hemos limitado, pues, a exponer, a través del texto, algunos aspectos generales del tema, sin profundizar.



## • Módulo: Magia con la luz.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

La polarización también es, sin duda alguna, un fenómeno desconocido para los alumnos de ESO, por lo que hemos ofrecido una explicación general sobre el tema, para que puedan entender lo que sucede en este módulo.



He aquí, resumidamente, lo que acontece en el módulo: al pasar la luz por el primer filtro polarizador, se limita la dirección de vibración de los campos electromagnéticos. Una vez que la luz ha pasado, los campos vibran en una única dirección, según esté situado el polarizador. Por tanto, las ondas que vibraban en una dirección perpendicular a aquél no han pasado (han sido absorbidas); en cambio, de las que vibraban en una dirección intermedia, solamente ha pasado una parte (el componente de los campos en esa dirección impuesta por el polarizador). Así pues, toda la luz que ha pasado vibra en esa única dirección.

Si se coloca el segundo filtro encima del primero, se producen cambios. Si la dirección de vibración que deja pasar el segundo polarizador no coincide con la del primero, únicamente pasa el componente de onda correspondiente a la dirección permitida; el componente perpendicular, en cambio, es absorbido. Por consiguiente, si coinciden las direcciones de ambos polarizadores, no se produce cambio alguno; pero si son perpendiculares, absorben toda la luz y no pasa nada al otro lado, se ve oscuro. El proceso de oscurecimiento se observa claramente al pasar de una posición a otra.

# I ¿Dónde está la imagen?

## ► Recuerda

### 1. ¿Qué es la luz? ¿Cómo, por dónde y hacia dónde se difunde la luz?

La luz es una onda electromagnética; no necesita, por tanto, material alguno para su difusión. Las fuentes (el sol, las bombillas...) crean luz, y se propaga en línea recta por el espacio, en todas las direcciones y a gran velocidad. Si tropieza con algún objeto; se refleja; si el objeto es transparente, lo atraviesa y se desvía.

Así pues, también los puntos del espacio situados entre la fuente y el objeto hay luz, pero es invisible: si no se refleja en un objeto, no se ve.

### 2. ¿Qué condiciones deben darse para que un cuerpo pueda verse?

Para que un cuerpo pueda verse, la luz emitida por la fuente debe reflejarse en él y llegar a nuestros ojos.

### 3. ¿Cómo se reflejan los rayos de luz en los espejos planos? ¿En qué dirección salen tras reflejarse?

El ángulo de incidencia del rayo de luz -el que forma el rayo con la perpendicular del espejo- y el ángulo de reflexión -el que forma el rayo reflejado con la perpendicular del espejo- son iguales.

### 4. ¿Dónde se sitúa la imagen del objeto que forma un espejo plano? ¿Cómo es dicha imagen?

La imagen se sitúa detrás del espejo. La distancia del espejo a la imagen es la misma que la del objeto al espejo -la imagen y el objeto son simétricos-, debido a que en los espejos planos el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales.

Si los alumnos no comprenden bien el proceso de formación de la imagen, bastará la siguiente explicación: la imagen se forma cuando los rayos de luz emitidos por cada punto del objeto confluyen en un solo punto.

Si la imagen se forma “detrás” del espejo, es virtual, es decir, los rayos no confluyen “realmente” en un punto del espacio: si el haz de luz entra en el ojo y éste lo junta en un punto, en la retina. Dicha imagen, por tanto, no puede ser proyectada en una pantalla como las imágenes reales.

### 5. ¿En el espejo cóncavo, dónde se sitúa y cómo es la imagen?

En los espejos cóncavos, si se sitúa el objeto a diferentes distancias del espejo, la imagen se forma de maneras y en lugares diferentes:

- Si se coloca el objeto entre el espejo y el foco, la imagen es virtual, no invertida, parece estar detrás del espejo y es de mayor tamaño que el objeto (cuanto más cerca del foco esté el objeto, mayor será el tamaño).
- Si se coloca el objeto justo encima del foco, no se forma imagen alguna.
- Si se coloca el objeto entre el foco y el centro del espejo, la imagen es real, invertida, se forma más atrás que el objeto (cuanto más cerca del foco esté el objeto, tanto más lejos se formará la imagen) y su tamaño es mayor que el de aquél (cuanto más lejos del foco esté, menor será el tamaño).
- Si se coloca el objeto en el centro del espejo, la imagen es real, invertida, se forma en el propio foco y tiene el mismo tamaño que el objeto.
- Por último, si se coloca el objeto más lejos que el centro del espejo, la imagen es real, invertida, se forma delante del objeto (cuanto más lejos del foco esté el objeto, tanto más lejos se formará la imagen) y su tamaño es menor que el del objeto (cuanto más lejos del centro esté el objeto, menor será su tamaño).

# • Módulo: Multiplícate.

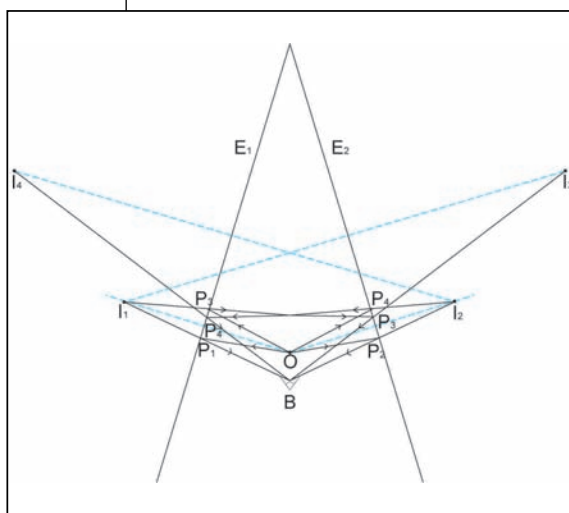
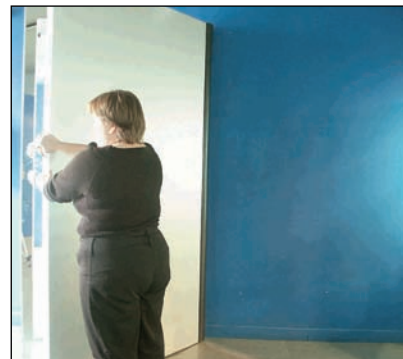
**Durante la visita**  
(en el Museo)

## ¿Qué ha ocurrido?

Si el ángulo existente entre los dos espejos es superior a  $90^\circ$ , el alumno verá únicamente dos imágenes de sí mismo, una por cada espejo (siempre detrás de ellos).

Pero el número de imágenes va aumentando (cuatro, seis...) a medida que se cierran los espejos y se reduce el ángulo existente entre los mismos. He aquí el porqué de dicho comportamiento: si el ángulo existente entre los dos espejos es pequeño, el ojo percibe más de un rayo procedente del objeto (el propio alumno), una vez reflejados una, dos, tres... veces en los espejos. El siguiente croquis nos muestra la trayectoria de los rayos.

Para evitar confusiones, hemos diferenciado el punto B (el ojo del alumno) y el punto O (el objeto). Cualquier elemento situado ante los ojos del alumno (su propia nariz, un dedo...) puede servir como objeto.  $E_1$  y  $E_2$  son los dos espejos, colocados en un ángulo de  $30^\circ$ . Las líneas de puntos unen el objeto con sus imágenes; las líneas continuas, por su parte, corresponden a los rayos de luz. El alumno observa cuatro imágenes del punto O en el citado croquis: las más fáciles, las que se ven siempre, son  $I_1$  e  $I_2$ , ya que son visibles tras una única reflexión, aun siendo grande el ángulo existente entre los espejos. Por el contrario, se necesitan dos reflexiones para que  $I_3$  e  $I_4$  sean visibles.



Analicemos el fenómeno caso por caso:

-  $I_1$ : el rayo  $OP_1$  produce el rayo  $P_1B$  tras reflejarse en el espejo  $E_1$ . Puesto que dicho rayo procede, al parecer, del punto  $I_1$ , el ojo ve la imagen del punto O en el punto  $I_1$ .

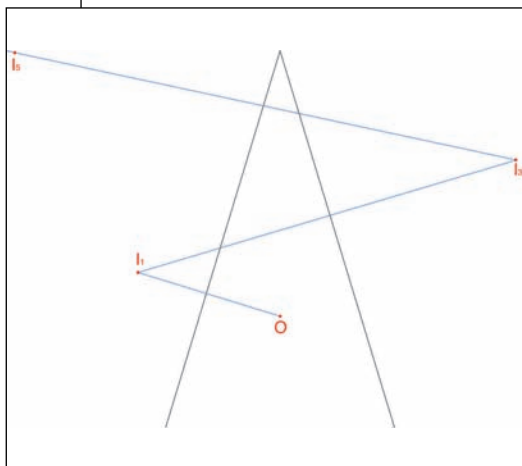
-  $I_2$ : el rayo  $OP_2$  produce  $P_2B$  tras reflejarse en el espejo  $E_2$ . Puesto que dicho rayo procede, al parecer, de  $I_2$ , el ojo ve la imagen del punto O en el punto  $I_2$ .

-  $I_3$ : la imagen  $I_3$  es la imagen de  $I_1$  en el espejo  $E_2$ ; el rayo  $OP_3$  se refleja en el espejo  $E_1$  y produce el rayo  $P_3P_3'$ , que se refleja a su vez en el espejo  $E_2$  y produce el rayo  $P_3'B$ . Puesto que dicho rayo procede, al parecer, de  $I_3$ , el ojo

ve la imagen de  $I_1$  (y, por tanto, también la de O) en  $I_3$ .

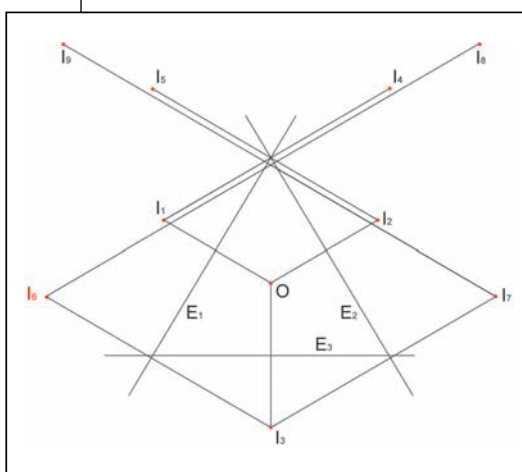
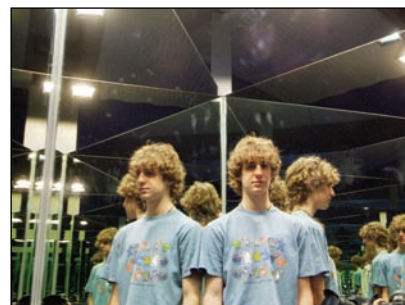
-  $I_4$ : la imagen  $I_4$  es la imagen de la imagen de  $I_2$  en el espejo  $E_1$ ; el rayo  $OP_4$  se refleja en el espejo  $E_2$  y produce el rayo  $P_4P_4'$ , que se refleja a su vez en el espejo  $E_1$  y produce el rayo  $P_4'B$ . Puesto que dicho rayo procede, al parecer, de  $I_4$ , el ojo ve la imagen de  $I_2$  (y, por tanto, también la de O) en  $I_4$ .

El proceso es aplicable también a  $I_5$  (la imagen de  $I_3$  en el espejo  $E_1$ ) y a  $I_6$  (la imagen de  $I_4$  en el espejo  $E_2$ ), trazando las líneas de puntos y dibujando los rayos procedentes de  $O$  llegando a  $B$  desde  $I_5$  e  $I_6$  tras reflejarse tres veces en los espejos.



En resumen: si el ángulo que producen los espejos es pequeño, la imagen  $I_1$  de un objeto real  $O$  (del propio alumno) produce (mediante el primer espejo) la imagen  $I_3$  en el segundo espejo, que, a su vez, produce otra imagen ( $I_5$ ) en el primer espejo... Nuestros ojos captan todas las imágenes, puesto que reciben los rayos supuestamente procedentes de dichas imágenes. El siguiente croquis nos ofrece la representación gráfica del proceso.

Resulta complicado seguir la trayectoria de los rayos en la formación de imágenes con dos espejos. Obviamente, con tres espejos aumenta la complejidad del proceso. Así pues, utilizar el último razonamiento parece el método más adecuado. El alumno deberá formar imágenes en los tres espejos (no podrá ver, sin embargo, la que se produce en el espejo trasero), cada una de las cuales formará -a su vez- imágenes en los otros dos espejos (no podrá ver, sin embargo, las que se producen en el espejo trasero). Continuando con este proceso se crea una gran cantidad de imágenes, tal como sucede en la realidad al utilizar tres espejos.



El croquis nos muestra algunas de las imágenes.  $I_1$  es la imagen de  $O$  en el espejo  $E_1$ ;  $I_2$  es la imagen de  $O$  en el espejo  $E_2$ ;  $I_3$  es la imagen de  $O$  en el espejo  $E_3$ . El alumno no puede ver  $I_3$  (está detrás de él), pero sí, probablemente,  $I_6$  e  $I_7$  (las imágenes de  $I_3$  en los espejos  $E_1$  y  $E_2$ ), y puede ver las imágenes de dichos espejos ( $I_8$  e  $I_9$ ). Tenemos, además, a  $I_4$  e  $I_5$ , las imágenes de  $I_1$  e  $I_2$ . Y pueden dibujarse más imágenes ya que estas serán visibles. Si dibuja más imágenes, podrá verlas. Las imágenes de  $I_1$  e  $I_2$  -por ejemplo- no podrán ser vistas en el espejo  $E_3$ , puesto que están detrás del alumno. Sí podrá ver, en cambio,

dichas imágenes en los otros dos espejos. Basta con entrar en el prisma de espejos para percatarse de la multitud de imágenes existente.

## Después de la visita (de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué han aparecido cada vez más imágenes de ti mismo a medida que disminuía el ángulo existente entre los espejos?

Porque a medida que disminuía el ángulo ha llegado de nuevo a tus ojos más de un rayo procedente de ti mismo, tras reflejarse una, dos, tres... veces en los espejos. Además de la imagen del objeto (tú mismo), ambos espejos también han formado imágenes de las imágenes del objeto, cuando el ángulo ha sido lo suficientemente pequeño.

❷ Dibuja un croquis para razonar la respuesta.

Sirven también los croquis dibujados con anterioridad.

❸ ¿Por qué han aparecido tantas imágenes cuando has entrado en el prisma de los espejos, al igual que le sucediera a Dayoub en el cuento?

Porque con tres espejos se ha incrementado el efecto causado por dos.

# • Módulo: Espejo antigravedad.

**Durante la visita**  
(en el Museo)

## ¿Qué ha ocurrido?

No resulta fácil comprender y “ver” cómo se forma la imagen en estos dos espejos colocados perpendicularmente entre sí. La mitad visible del cuerpo tiene, obviamente, su imagen correspondiente en el espejo pequeño (en la parte trasera del mismo). Pero, ¿y la otra mitad?



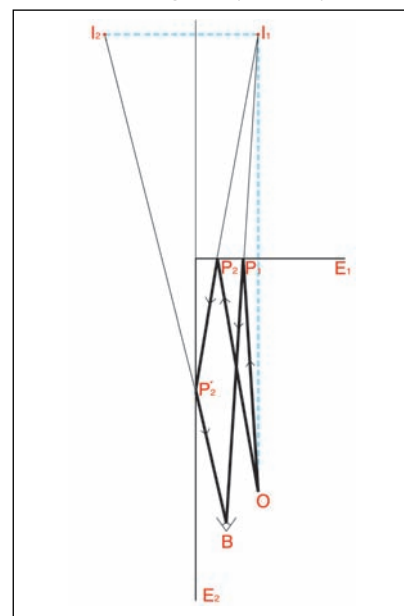
Dicha imagen se ha formado a partir de la imagen que se ha formado detrás del espejo pequeño situado enfrente, es decir, la formada en el espejo grande lateral. Así pues, la mitad visible del cuerpo produce una imagen en el espejo pequeño y esta, a su vez, produce una imagen en el espejo grande. Las dos mitades del cuerpo son, por tanto, la misma, es decir, la mitad derecha visible. Si levantamos la pierna derecha (manteniéndonos sobre la izquierda, claro está), parece que hemos levantado ambas.

El siguiente croquis nos muestra las posiciones de las imágenes y las trayectorias de los rayos.

Al igual que en el anterior ejercicio, hemos diferenciado el objeto -el punto O- y el ojo -el punto B-. El objeto puede ser, por ejemplo, la mano abierta del alumno. Las líneas de puntos unen el objeto y la imagen de este; las líneas continuas, por su parte, son los rayos.

$I_1$  es la primera imagen, la “habitual”, reflejada por el espejo  $E_1$ , situado enfrente. Dicha imagen se encuentra ahí porque el rayo  $OP_1$  produce -tras reflejarse en el espejo-  $P_1B$ , y porque éste, a su vez, parece provenir de  $I_1$ .

$I_2$ , por su parte, es la imagen de  $I_1$ , reflejada por el espejo lateral  $E_2$ . El ojo ve la imagen ahí porque el rayo  $OP_2$  - una vez reflejado en el espejo  $E_1$  y creado el rayo  $P_2P_2'$ - se refleja en el espejo  $E_2$ , produciendo el rayo  $P_2'B$ , y porque éste parece provenir de  $I_2$ .



## Después de la visita (de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué tu cuerpo se ha reflejado “entero” en los espejos, si solamente se hallaba visible la mitad del mismo?

Porque la parte visible del cuerpo ha formado dos imágenes, o, mejor dicho, ha formado una, y ésta, a su vez, otra. En el espejo frontal pequeño (detrás del espejo, por supuesto) se ha formado la imagen convencional, y en el espejo grande lateral se ha formado la imagen de la citada imagen. Así pues, la parte visible del cuerpo ha producido una imagen en el espejo pequeño, lo que, a su vez, ha creado una imagen en el espejo grande.

❷ En el segundo de los experimentos no has podido estrechar la mano de la imagen de tu compañero. ¿Por qué? ¿Dónde se encontraba dicha imagen? La imagen convencional (virtual, claro está) formada en el espejo pequeño se hallaba detrás de éste; la otra (también virtual, claro está), por su parte, detrás del espejo grande. Por tanto, no has podido tocar ni una ni otra imagen.

❸ Dibuja un croquis para explicar la respuesta anterior. Los alumnos deben dibujar el croquis anterior, o alguno similar.

# • Módulo: Espejo cóncavo.

## Durante la visita (en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

En este espejo cóncavo se comprueba de modo adecuado lo manifestado anteriormente por los estudiantes. Todas estas opciones pueden ponerse en práctica en el espejo cóncavo del Museo. Es conveniente que quien vaya a observar las imágenes (el alumno...) se coloque en la parte de atrás y que se utilice como objeto a un compañero, por ejemplo. El foco del espejo se encuentra -aproximadamente- a 80 cm; el centro, por tanto, está a 160 cm.



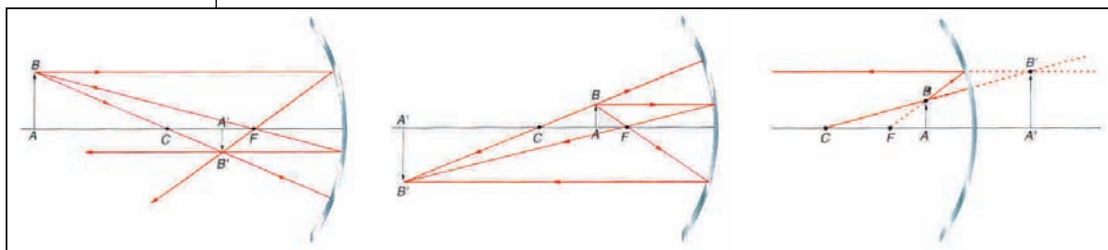
Si el compañero se sitúa cerca del espejo y va retrocediendo poco a poco, podrán verse desde atrás todas las opciones citadas. Cuando se produce una imagen real, no se puede ver dicha imagen en una pantalla (una hoja de papel blanco, por ejemplo), porque el Museo debería estar completamente a oscuras para que la imagen pudiera verse.

## Después de la visita (de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

1 Explica, mediante croquis, las imágenes que se producen en diferentes puntos.

Estos croquis se utilizan en los libros para mostrar dónde se forman las imágenes. Se dibujan tres rayos principales, en función de la dirección de reflexión de los citados rayos: el rayo horizontal se refleja atravesando el foco; el rayo que atraviesa el foco se refleja horizontalmente, y, por último, el rayo que atraviesa el centro se refleja por el centro, es decir, en la misma dirección.



2 ¿Por qué no se ha formado imagen alguna del compañero en un punto?

Evidentemente, porque dicho punto era el foco: si se coloca el objeto en el foco, no se forma imagen alguna.

3 ¿Dónde se encuentran situados el foco y el centro del espejo?

Aquí se puede deducir la posición del foco (unos 80 cms aproximadamente). Dado que el foco se sitúa entre el espejo y el centro de éste, el centro estará a 160 cm del espejo.

4 ¿Por qué no has visto imagen alguna de ti mismo cuando te has acercado o te has movido hacia atrás (y no solamente en determinado punto, como en el caso de tu compañero) sino en todo el recorrido?

Porque desde el foco hasta el centro la imagen del objeto se forma detrás de éste. Por consiguiente, la imagen que se ha formado más atrás no es visible.

5 En los espejos de los automóviles, ¿dónde debe colocarse la lámpara delante del espejo para que los rayos salgan paralelos tras reflejarse?

En el foco, claro está: los rayos procedentes del foco salen horizontalmente tras reflejarse en el espejo.

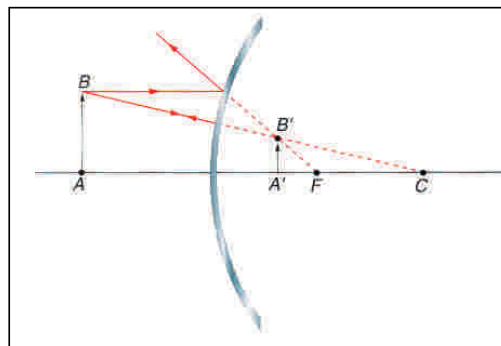
6 ¿Cómo entran en el telescopio los rayos de luz procedentes de las estrellas? ¿Dónde se forma la imagen de las estrellas?

En este caso, sucede justamente lo contrario. Debido a la lejanía de la fuente de luz, los rayos procedentes de las estrellas llegan paralelamente a la Tierra. Si se coloca el espejo en la posición adecuada, se reflejan horizontalmente y forman la imagen en el foco. Es ahí donde se coloca el sistema de captación de imágenes (placas fotográficas, por lo general).

7 ¿Qué tipo de imagen se forma en nuestro ojo de los vehículos que nos siguen tras reflejarse estos en un espejo convexo? ¿Dónde están los coches? Dibuja un croquis para explicar la formación de la imagen.

En los espejos convexos, el tipo de imagen es siempre el mismo, dondequiera que se coloque el objeto: virtual, derecha y menor que el objeto (cuanto más se aleje el objeto del espejo, menor será la imagen). He ahí por qué se ven más pequeños los vehículos que nos siguen.

El croquis es el que se ve habitualmente en los libros de texto.



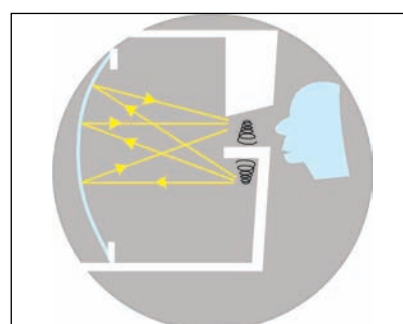
## • Módulo: Agárralo como puedas.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

Dentro de esa caja negra hay un espejo cóncavo, así como un muelle auténtico. Ambos objetos están ocultos a la vista. Lo que se ve (mediante un espejo) es, por tanto, una imagen real del muelle.

Dado que la imagen es real, ésta puede verse en el espacio sin ver el espejo, como si se tratara de un objeto real, ya que el ojo hace confluír en la retina los haces de luz emitidos por esa imagen "surgida del aire", tal como sucede cuando vemos un objeto. Para que dicha imagen pueda verse con nitidez, los objetos deben estar muy bien iluminados, mientras que todo su entorno debe permanecer a oscuras (como en las cajas oscuras, por ejemplo).



**Después  
de la visita**  
(de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué no se puede coger el muelle?

Porque el muelle que se ve no es un objeto, sino una imagen real del auténtico muelle, reflejada en un espejo cóncavo.

❷ Dibuja un croquis que represente la ubicación del espejo, del auténtico muelle y de la imagen de éste.

El croquis se encuentra a disposición de los alumnos en el panel del Museo, pero, por si acaso, preferimos que lo dibujen. Si ya lo han visto, basta con que lo recuerden y lo reproduzcan.

## • Módulo: Espejos para perderse.

### Durante la visita (en el Museo)

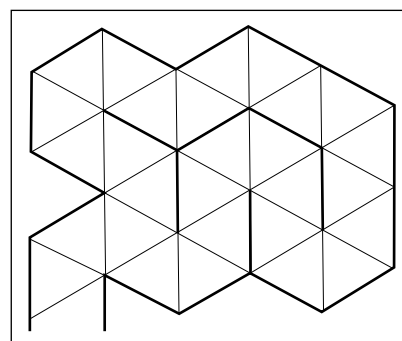
#### ¿Qué ha ocurrido?

El laberinto es realmente bonito. Los ángulos que forman los espejos nos muestran un camino aparentemente despejado, pero que en realidad no lo está. Los alumnos deben moverse con cuidado y lentamente para evitar chocar con los espejos y, por consiguiente, sufrir lesión alguna.

Dejar que los alumnos se "pierdan" en el laberinto es, probablemente, lo más acertado: primero, que disfruten; a continuación, que hagan el croquis. El camino se encuentra fácilmente mirando al techo o al suelo, ya que tanto en uno como en otro se ven los bordes de los espejos.

El croquis nos muestra la disposición de los espejos y el recorrido efectuado.

Puesto que todos los espejos están colocados de manera que forman ángulos de  $60^\circ$  o  $120^\circ$ , los espejos y las líneas dibujadas en el suelo forman triángulos equiláteros. Mirar a dichos triángulos es el modo más sencillo para realizar el croquis del camino del laberinto.



### Después de la visita (de nuevo en clase)

#### ¿Por qué ha ocurrido?

1 Dibuja un croquis de tu recorrido por el interior del laberinto. ¿Cómo están colocados los espejos?

Todos los espejos están colocados de manera que forman un ángulo de  $60^\circ$  o de  $120^\circ$ . Por consiguiente, los espejos y las líneas dibujadas en el suelo forman triángulos equiláteros.

## 2 La propagación de la luz al cambiar de medio.

### ► Recuerda

#### 1. ¿Qué cambio sufren los rayos de luz al refractarse a causa del cambio de medio? ¿Por qué?

Los rayos de luz -al igual que el resto de las ondas- se desvían, cambian de dirección al pasar de un medio a otro, ya que se desplazan a distinta velocidad, según sea el medio. Si en el segundo de los medios la onda se desplaza a menor velocidad que en el primero, el ángulo de incidencia (el que forma el rayo con la normal respecto a la superficie divisoria de ambos medios) es mayor que el ángulo de refracción (el que forma el rayo refractado con la normal respecto a la superficie). Por el contrario, el rayo se aproxima a la normal si en el segundo de los medios la onda se desplaza a mayor velocidad que en el primero. Si el ángulo de incidencia es menor que el ángulo de refracción, el rayo se aleja de la normal.

#### 2. ¿Cuál es la expresión matemática de dicho fenómeno, la ley de Snell?

La ley de Snell cuantifica lo que acabamos de señalar:  $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$  ( $i$  y  $r$  son, respectivamente, el ángulo de incidencia y el de refracción;  $n_1$  y  $n_2$ , por su parte, los índices de refracción de ambos medios). Definición del índice de refracción de un medio: la velocidad de la luz en el vacío (300.000 km/s) dividida por la velocidad de la luz en dicho medio. Por tanto, cuanto menor sea la velocidad de la luz en el citado medio, mayor será su índice de refracción.

#### 3. ¿En qué consiste la reflexión total? ¿Y el ángulo crítico?

Si la velocidad de la onda es mayor en el segundo de los medios cuando  $n_2$  es menor que  $n_1$ , es evidente (según la ley de Snell) que  $\sin r$  tiene que ser mayor que  $\sin i$  ( $r$  tiene que ser mayor que  $i$ ). Pero a medida que aumenta  $i$  (y, por tanto,  $\sin i$ ), llega un momento en el que  $\sin r$  sería mayor que 1 (no es posible). Por tanto, y puesto que el valor máximo al que puede llegar  $\sin r$  es 1 ( $r = 90^\circ$ ), el citado ángulo  $r$  producido por  $i$  será el último que provoque refracción. A partir de dicho ángulo  $i$  (se denomina 'ángulo crítico) no es posible la refracción.

## • Módulo: La cara oculta.

### Durante la visita (en el Museo)



### Después de la visita (de nuevo en clase)

#### ¿Qué ha ocurrido?

Cuando la luz cambia de medio, una parte se refracta en el segundo medio; otra parte, por el contrario, se refleja en la superficie divisoria de ambos medios. Este fenómeno es más evidente si la luminosidad es intensa en el primer medio. El presente módulo explica con claridad el fenómeno de la refracción.

Si pulsando el botón de la izquierda uno de los lados queda iluminado con intensidad intermedia y el otro con muy baja intensidad, la persona situada en el segundo de los lados apenas podrá verse a sí misma. En cambio, puede ver a su compañero en el cristal. Si se pasa a una luminosidad intermedia, ambas imágenes (la suya, reflejada, y la de su compañero, en el cristal) se mezclan. Si activa la luminosidad máxima de su lado, verá -sobre todo- su propia imagen reflejada. Es el momento de apagar un foco pulsando el botón de la derecha y de volver a la situación anterior.

#### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Qué condiciones deben darse para que la intensidad de la luz reflejada sea mayor o menor? En otras palabras ¿cuándo ha actuado el cristal vertical frontal como “espejo”, y cuándo como “cristal”?

Cuando la intensidad de luz era mayor en su lado que en el otro, el alumno ha visto reflejada su propia imagen; cuando ha sido menor; por el contrario, ha visto a su compañero del otro lado.

❷ ¿Se ha reflejado toda la luz al funcionar como espejo? ¿No pasaba luz al otro lado?

Cuando el alumno veía su propia imagen reflejada -cuando el cristal funcionaba como “espejo”- su compañero del otro lado también podía verle. Por tanto, parte de la luz se reflejaba, mientras que otra pasaba al otro lado.

❸ Al dibujar la segunda cruz, veías al mismo tiempo la cruz dibujada anteriormente y la dibujada sobre aquélla. ¿Por qué?

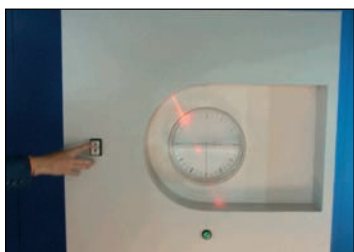
Porque la dibujada en primer lugar se estaba reflejando en el cristal, mientras que la que se estaba dibujando ahora pasaba al otro lado.

❹ ¿Dónde has dibujado la segunda cruz para que se superpusiera a la primera? ¿Dónde has visto la imagen de la primera cruz mediante el “cristal-espejo”?

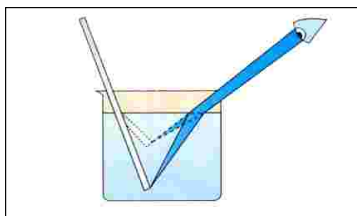
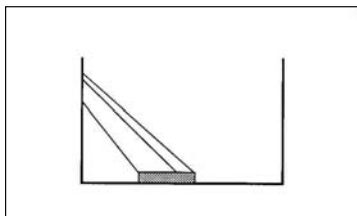
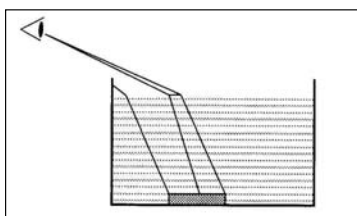
Excelente oportunidad para demostrar que la imagen formada en el espejo plano se encuentra detrás del espejo, puesto que en este caso podemos atravesar el espejo y pasar a su parte de atrás (ya que el espejo es de cristal). Por otra parte, queda muy claro que la imagen de la primera cruz se ve detrás del espejo, ya que es ahí donde se dibuja la segunda cruz superponiéndola.

# • Módulo: Ángulo crítico.

**Durante la visita**  
(en el Museo)



**Después de la visita**  
(de nuevo en clase)



## ¿Qué ha ocurrido?

Cuando el rayo de luz pasa del agua al aire ( $n_1 > n_2$ , y, por tanto,  $\sin r > \sin i$ , y, por tanto,  $r > i$ ), se aleja de la normal. Según aumenta el ángulo de incidencia, podemos observar que una parte de la luz se refleja y otra se refracta. Al superar el ángulo crítico, ya no se produce refracción: toda la luz se refracta; la refracción es total. Si elevamos la fuente, la luz pasa del aire al agua ( $n_1 < n_2$ , por tanto,  $\sin r < \sin i$ , y, por tanto,  $r < i$ ) y el rayo va aproximándose a la normal. Si al llegar arriba  $i = 0^\circ$ , no se produce refracción, como fácilmente se deduce aplicando la ley de Snell.

## ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Cuál es el ángulo crítico al pasar del agua al aire ( $n_{\text{agua}} = 1,33$ )? El resultado ha sido el mismo en el Museo?

Los alumnos deben utilizar sin problemas la ley de Snell para efectuar  $r = 90^\circ$  y obtener el ángulo  $i = 48,75^\circ$ .

❷ ¿Por qué no se ha producido refracción alguna al entrar perpendicularmente el rayo de luz a la superficie divisoria del agua y del aire?

Porque en este caso  $i = 0^\circ$  y porque aplicando la ley de Snell también  $r = 0^\circ$ .

❸ ¿Por qué el recipiente que contiene agua es cilíndrico y no -por ejemplo- cúbico? Nuestro objetivo es observar la refracción que se produce en la superficie divisoria del aire y del agua en la superficie horizontal que se encuentra en el interior del cilindro, y no la refracción que se produce en su pared -en el agua- al entrar el rayo de luz en el recipiente, al pasar del aire al agua.

El rayo debe entrar perpendicularmente a la superficie para poder atravesar la pared del recipiente sin desviarse, tal como hemos visto antes. Dicho objetivo se alcanza únicamente si la pared del recipiente es circular; ya que en ese caso todos los rayos radiales son perpendiculares a la pared.

❹ Cuando el agua de una piscina está en calma, se puede ver el fondo, así como las líneas dibujadas en él. ¿Por qué nos da la impresión de que la piscina es menos profunda de lo que realmente es y de que las líneas están más cerca de nosotros de lo que realmente están?

Por la refracción de los rayos procedentes del fondo de la piscina, evidentemente. Al pasar del agua al aire,  $r > i$ . Por tanto, para nuestro ojo, parece que dichos rayos proceden de una profundidad menor que la real. Este fenómeno es aprecia claramente en el experimento que proponemos.

❺ ¿Por qué has visto la tapa metálica tras verter el agua? ¿Por qué la profundidad de la piscina parece menor de lo que realmente es?

Los rayos se han refractado al pasar del agua al aire, han cambiado de dirección. No pueden, por tanto, chocar contra la pared del recipiente, ni llegar hasta nuestros ojos. El siguiente gráfico nos muestra claramente lo que ha sucedido.

❻ ¿Por qué parece que el rotulador está roto? A causa de la refracción, por supuesto. La luz, al pasar del agua al aire, se ha desviado, tal como se aprecia en la imagen, debido a que  $r > i$ . Así pues, ha engañado a la vista, aparentando que la punta del rotulador se encuentra en otro lugar y que los rayos de luz llegan directamente al ojo, sin desviación alguna.

## • Módulo: Tubería de luz.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

Debe subrayarse, en primer lugar, que la luz se dispersa en el líquido, motivo por el que se ve el rayo desde su fuente hasta la entrada en el chorro, ya que la luz se refracta en algún elemento (en las partículas existentes en el interior del líquido). De no ser así, no podría verse, puesto que la luz no se ve. Este mismo fenómeno es el que se produce en las salas de cine: si hay en el aire partículas (humo, polvo...) en las que reflejarse, los rayos de luz que van del proyector a la pantalla se vuelven visibles; si no hay tales partículas, los rayos no son visibles.



Una vez introducido el rayo de luz en el chorro de líquido, no vuelve a salir. El rayo se desplaza por el interior del líquido y, tras atravesar el orificio (dentro ya del chorro) tropieza con la superficie divisoria del aire y del líquido, con la "pared" del chorro. Pero, puesto que su ángulo es superior al ángulo crítico, no se refracta, no sale del chorro: la reflexión es total. Tras la reflexión, se produce el mismo fenómeno, al retornar el rayo al otro lado del chorro: reflexión total, una y otra vez, hasta llegar abajo y reflejarse en el espejo allí existente. La trayectoria del rayo en el interior del chorro puede observarse agachándose y mirando por debajo, ya que la luz continúa dispersándose en el líquido.

**Después  
de la visita**  
(de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

○ ¿Por qué no han salido los rayos de luz del chorro de líquido?

Porque al chocar con la "pared" del chorro de líquido el ángulo de los rayos es mayor que el ángulo crítico. Por tanto, no se refractan, no salen del chorro alejándose de la normal, ya que se produce una reflexión total -una y otra vez-hasta llegar al espejo de la parte inferior.

# 3 Otro modo de **crear imágenes.**

## ► Recuerda

### 1. ¿Cuántos tipos de lentes existen?

Las lentes se dividen en convergentes y divergentes. Las convergentes son cóncavas por ambas caras. También pueden ser planas por una de las caras (por ejemplo, el elemento del módulo *Caminos de luz*), pero esto no suele ser lo habitual. Las divergentes, en cambio, son convexas por ambas caras (también las hay planas por una de las caras, pero tampoco éstas son muy habituales).

### 2. ¿Qué cambio sufren los rayos de luz al atravesar las lentes?

Las lentes convergentes desvían los rayos de luz, cierran los haces y hacen confluír en un solo punto los rayos procedentes de un punto. Por tanto, si se coloca un objeto ante la lente, aparece al otro lado de ésta la imagen real de dicho objeto.

Se denomina eje óptico a la línea perpendicular a la lente que atraviesa ésta por su centro. Si los rayos proceden del objeto situado (muy lejos) a la izquierda de la lente, forman un haz paralelo -éste, a su vez, es paralelo al eje óptico-, y la lente los hace confluír en el foco  $F'$  situado a su derecha. Se denomina distancia focal  $f'$  a la distancia existente entre la lente y el foco. Dicha distancia es positiva.  $f'$  nos muestra la capacidad de la lente para cerrar los haces de luz: si la distancia focal ( $f'$ ) es pequeña, la lente cierra mucho el haz de luz; si es grande, lo cierra poco. Por otra parte, todos los rayos procedentes del foco  $F$  salen paralelamente. La distancia de  $F$  a la lente es  $f$  (negativa e idéntica a  $f'$ , por lo que al valor se refiere).

Las lentes divergentes, por su parte, abren los haces de luz; así pues, no concentran en un punto real los rayos procedentes de un punto. Por tanto, si se coloca un objeto delante de la lente, es imposible que al otro lado se vea la imagen real de aquel. Si colocamos nuestros ojos, por el contrario, podremos obtener imágenes virtuales, ya que cierran el haz de rayos y sitúan la imagen en el lugar de procedencia de los rayos.

La lente divergente separa el haz de rayos paralelo procedente de la izquierda, por lo que los rayos parecen venir del foco  $F'$  situado a la izquierda de la lente. Por tanto,  $f'$  es negativo y expresa que la lente divergente dispone de capacidad para separar los haces de rayos. Del mismo modo, los rayos que se dirigen hacia el foco  $F$  situado a la derecha de la lente salen paralelamente tras atravesar la lente. La distancia de  $F$  a la lente es  $f$  (positiva e idéntica a  $f'$ , por lo que al valor se refiere).

### 3. ¿Cómo se cuantifica dicho fenómeno? ¿Qué relación existe entre las posiciones de los objetos y de sus imágenes?

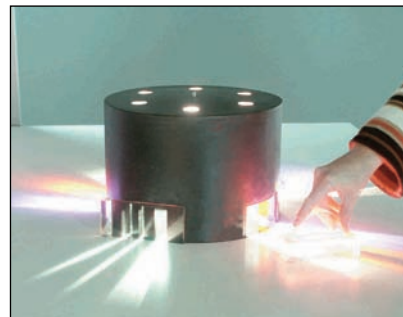
Debido a las características de las citadas lentes, si se coloca un objeto ante una lente, la imagen (real o virtual) de dicho objeto se ve al mirar desde el otro lado. He aquí la relación entre ambas posiciones:  $1/s' - 1/s = 1/f'$

## • **Módulo: Caminos de luz.**

### **Durante la visita** (en el Museo)

### **¿Qué ha ocurrido?**

En este módulo pueden observarse los cambios de dirección de los rayos tras atravesar estos diversos elementos ópticos. Para eso, es conveniente colocar los elementos perpendicularmente a los rayos.



Un elemento plano por ambas caras no desvía los rayos de manera apreciable, ya que salen en la misma dirección en la que entraron. Si la superficie del elemento se coloca perpendicular a los rayos, estos salen tal como entraron. Si la superficie se coloca oblicua a los rayos (haciendo ángulo), estos salen sin haber modificado su dirección, pero con un desplazamiento lateral. De todos modos, el desplazamiento es casi imperceptible, dado el escaso grosor del elemento, ya que lo desplazado depende del citado grosor  $l$ , el valor es  $l \cdot \cos \alpha \cdot \sin(\alpha - \alpha')$ , donde  $\alpha$  representa el ángulo de incidencia del rayo y  $\alpha'$  el ángulo refractado. Este cálculo puede ser apropiado para utilizarlo con los alumnos de Bachillerato.

La lente convergente es un elemento con un lado convexo, que concentra todos los rayos en un punto, especialmente si entran por el lado plano. Dicho punto no es el foco, puesto que los rayos no han entrado paralelamente, pero se aproxima mucho.

La lente divergente, por su parte, es un elemento con un lado cóncavo. Esta lente dispersa los rayos como si vinieran de un solo punto. Este fenómeno se observa con claridad si los rayos entran por el lado plano. Tampoco dicho punto es el foco de la lente divergente, puesto que los rayos no han entrado paralelamente.

### **Después de la visita** (de nuevo en clase)

### **¿Por qué ha ocurrido?**

❶ ¿Se han desviado los rayos de luz al colocar ante estos un elemento plano por ambas caras? ¿Por qué?

No se han desviado. El motivo, claro está, es que han entrado perpendicularmente. El cambio de medio no conlleva el cambio de dirección cuando los rayos entran perpendicularmente a la superficie divisoria de ambos medios. Este tema fue estudiado por los alumnos en el módulo *Ángulo crítico*. Según la ley de Snell ( $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$ ), si  $i$  es  $0^\circ$ , también  $r$  debe ser  $0^\circ$ .

❷ ¿Por qué han desviado los rayos de luz los dos elementos con una cara curvada, y no lo ha hecho el que es plano por las dos caras, si todos ellos están hechos del mismo plástico?

Una de las caras de esos dos elementos es curva (cóncava o convexa); no está, por tanto, situada perpendicularmente respecto a los rayos incidentes. Por consiguiente, los rayos se refractan, se desvían.

3 ¿Por qué se te ha indicado que coloques dichos elementos de manera que la cara plana (y no la curvada) se oriente hacia los rayos?

Si se coloca delante la cara plana, los rayos entran perpendicularmente y siguen su camino sin desviarse. De esta manera puede observarse perfectamente la refracción de los rayos en la segunda de las caras: los rayos se concentran en un punto (lente convergente) o se separan (lente divergente).

4 La reflexión total se produce siempre al pasar del medio "tranquilo" al medio "rápido", nunca al revés. ¿Por qué?

La ley de Snell ( $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$ ) nos explica la relación matemática entre los ángulos. Por tanto, si  $r = 90^\circ$ ,  $r > i$ , y  $\sin r > \sin i$ , y  $n_2 < n_1$ . De lo que se deduce (recuérdese:  $n = c/v$ ) que  $v_2 > v_1$ , es decir, que la luz debe desplazarse del medio "tranquilo" al "rápido".

5 ¿Cuál es el ángulo crítico?

El ángulo crítico es el ángulo de incidencia correspondiente a un ángulo de refracción de  $90^\circ$ . Por tanto:

$$\sin i_c = n_2/n_1 \cdot \sin 90$$

6 ¿Cuál debe ser el índice de refracción del vidrio para desviar  $90^\circ$  los rayos de luz en este prisma de cristal?

La condición mínima es que el ángulo de  $45^\circ$  sea el ángulo crítico. Por tanto, siendo  $i = 45^\circ$ , que  $r$  sea  $= 90^\circ$ . Puesto que la luz entrará al prisma desde el aire, ( $n_2 = 1$ ):

$$n_1 = 1/\sin 45$$

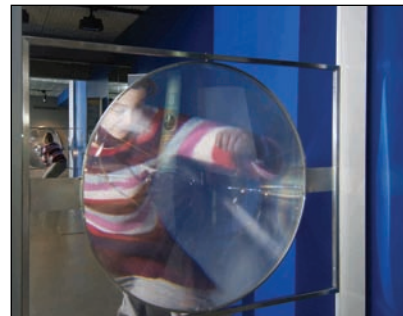
## • **Módulo: Lupa gigante.**

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

Contamos en este módulo con un elemento óptico de gran tamaño que actúa a modo de lupa. No hemos dicho que se trate de una lente convergente, porque no siempre funciona como tal. La imagen que produce (virtual, sin invertir y mayor que la original) cuando el objeto se halla cerca del elemento óptico (según la teoría, entre el foco y la lente) es similar a la que forma una lente. Pero a medida que se aleja el objeto (acercándolo al hipotético foco, sobrepasándolo y colocándolo más lejos que aquél) no se forman las imágenes que una lente sí puede producir. A medida que se acerca al foco, la citada imagen (virtual, sin invertir) no va aumentando de tamaño, y, a continuación, si se aleja el objeto del foco para que disminuya su tamaño, la imagen no se convierte en real, invertida y de mayor tamaño.

Así pues, no nos es posible aplicar la expresión teórica para conocer la posición de la imagen, puesto que no sabemos con exactitud cuál es la posición del foco. Por otra parte, al ser virtual la imagen, es muy difícil conocer la procedencia de los rayos y verificar en la práctica los cálculos teóricos.

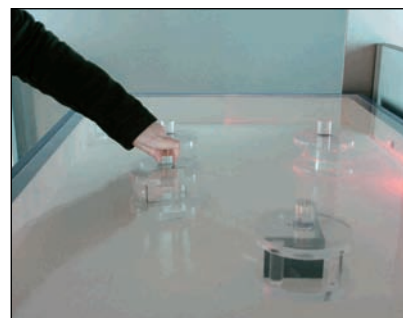


## • **Módulo: Prismas y espejos.**

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

No es fácil dirigir el láser hacia el círculo marcado -la ubicación de algunos elementos exige un riguroso ajuste-, pero, tras numerosos intentos, se consigue. Cabe subrayar que en el primer elemento (el prisma) se ven perfectamente los rayos que se refractan y los que reflejan en todas las direcciones.



# 4 Haciendo y deshaciendo la luz.

Los alumnos de Bachiller tendrán, probablemente, alguna noción sobre los colores y su dispersión, así como sobre la suma y la resta de los mismos. Es posible, por otra parte, que sus conocimientos al respecto no sean del todo correctos o completos. Con todo, hemos optado por hacer preguntas al respecto. El profesor deberá rellenar las lagunas existentes antes de entrar en materia sobre esta sección.

## ► Recuerda

### 1. ¿Qué es la luz? ¿Cuál es su naturaleza? ¿Por qué normalmente es blanca? ¿Qué son los colores?

La luz es una onda electromagnética, es decir, la propagación de campos eléctricos y magnéticos variables (los campos eléctricos y los magnéticos son perpendiculares entre sí). No tiene naturaleza material, y por ello se propaga en el vacío. Está compuesta por ondas de diversas longitudes (o frecuencias). Cada una de dichas frecuencias nos aporta la percepción visual de un color cuando la luz llega a nuestros ojos. Si todos los colores llegan mezclados, en cambio, obtenemos la percepción visual del color blanco.

### 2. ¿En qué consisten la suma y la resta de colores?

Si se combinan las luces emitidas por fuentes de luz de colores (es decir, de determinada longitud de onda), se produce la suma de colores. La iluminación del escenario de un concierto musical o la pantalla del televisor en color citada en la introducción del material de los alumnos son dos ejemplos de este fenómeno.

La resta de colores se produce con más frecuencia que la suma. Lo que vemos cuando la luz (la luz blanca, por lo general, la que contiene todas las longitudes de onda, todos los colores) ilumina un objeto, lo que llega a nuestros ojos, es la luz que refleja dicho objeto. Si vemos el objeto de color verde, se debe a que ha absorbido de la luz blanca todos los colores a excepción del verde, que ha sido reflejado. Por eso se denomina a este fenómeno resta de colores, porque vemos el color de los objetos gracias a los colores que han absorbido (suprimido) de la luz blanca (o de la que ilumina en ese momento dichos objetos).

### 3. ¿Qué son los colores básicos? ¿Cuáles son? ¿Y los colores secundarios?

Se denomina “colores básicos” de la luz a aquellos que, combinando luces de colores en las proporciones adecuadas, tienen capacidad para producir todos los colores (mezclados en la misma proporción producen el color blanco). Los colores básicos de la luz son el rojo, el verde y el azul.

Si se mezclan dos de dichos colores (ambos en idéntica proporción) se originan los colores secundarios de la luz: el rojo y el verde producen el amarillo; el verde y el azul, el denominado color cian; el rojo y el azul, el color magenta.

El caso de los pigmentos y de las pinturas es diferente. Si se mezclan con un pincel pintura roja, verde y azul, el resultado no es pintura blanca. La pintura roja absorbe el color verde y el azul de la luz blanca, reflejando el rojo; la pintura verde absorbe el rojo y el azul; la pintura azul, por último, el rojo y el verde. Por tanto, si se mezclan las tres pinturas, los tres colores básicos se absorben mutuamente. El resultado, en teoría, debería ser el color negro. Y, en efecto, suele serlo (o bastante oscuro, por lo menos).

Así pues, el sistema para crear colores mediante la mezcla de pigmentos es otro: la resta de colores. Los pigmentos o colores imprescindibles para crear todos los colores son el color magenta, el cian, y el amarillo (los colores secundarios de la luz), mezclados en la proporción adecuada.

### 4. ¿Qué es la dispersión de la luz blanca? ¿Por qué se produce?

Cuando se produce la dispersión de la luz blanca, las luces de todos los colores que la componen se separan y podemos verlos. Este fenómeno se produce, normalmente, al pasar la luz de un medio a otro (del aire al vidrio, del aire al agua...). La luz sufre un cambio de velocidad al cambiar de medio, y, en consecuencia, también un cambio de dirección. Dicho cambio de dirección es diferente para cada longitud de onda (es decir, para cada color). Así pues, cada color parte en una dirección distinta, repartiéndose todos ellos en el espectro.

## • Módulo: Paisajes de colores.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?



Los alumnos pueden observar la espectacular dispersión de la luz a la entrada del Museo, en el módulo existente en el *Jardín de los elementos*.

Al pasar de un medio a otro (del aire al vidrio, en este módulo), la luz -al igual que el resto de las ondas- sufre cambios de dirección debidos al cambio de velocidad; es decir, se refracta. Pero no todas las longitudes de onda se propagan a la misma velocidad en el vidrio -hay algunas pequeñas diferencias-, por lo que no se desvían de idéntica manera. La mayor longitud de onda -la correspondiente al color rojo- es la que menos se desvía; la menor longitud de onda -el morado-, la que más. Si la luz ha efectuado un recorrido considerable a lo largo del vidrio (es el caso del presente módulo), la desviación es manifiesta. Por consiguiente, la luz blanca se descompone en colores a la salida del vidrio. Si se dirigen los rayos solares al suelo tras salir del prisma, el espectro de los colores se hace allí visible.

Los alumnos preferirán, sin duda alguna, mirar a través del prisma, ya que lo que hay al otro lado se ve dispersado en colores. Aquella pared clara, ese trozo de cielo que se ve entre las hojas de los árboles... forman bellas combinaciones de colores.

## Después de la visita (de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué aparecen colores tras atravesar la luz el prisma? ¿Qué le ha ocurrido a la luz en el interior del prisma?

Los colores han aparecido porque la luz se ha dispersado: al cambiar de medio (la entrada en el vidrio) y de velocidad, las ondas de todas las diferentes longitudes de onda se han desviado (algunas más que otras) y han salido dispersas del prisma.

❷ Al observar el paisaje a través del prisma, has visto la pared blanca de la casita dispersada en colores. Sin embargo, has visto de color negro la pared negra. Idéntico fenómeno se ha producido al observar las hojas de los árboles y el trozo de cielo comprendido entre ellas. ¿Por qué?

Porque la luz procedente de la pared blanca es la suma de todos los colores, es decir, de todas las longitudes de onda. Dicha luz, por tanto, se dispersa al atravesar el prisma.

Por el contrario, apenas llega luz de la pared negra (no es completamente negra, pero sí muy oscura), ya que la propia pared ha absorbido toda la luz. No puede producirse, por tanto, el fenómeno de la dispersión.

Idéntico fenómeno se produce con las hojas de los árboles y el cielo. La luz procedente de las hojas verdes contiene un único color -longitud de onda-, el correspondiente al verde: es monocromática. No puede, por tanto, producirse la dispersión de dicha luz. En cambio, la luz procedente del cielo, luz blanca, puede dispersarse y sale del prisma dividida en colores.

❸ El sol se ve de color rojizo al atardecer; de día, por el contrario, de color amarillo (pero no blanco). ¿Por qué?

La dispersión es la causa de que el sol no se vea de color blanco durante el día: nuestros ojos no reciben el color azul al mirar directamente al sol, ya que se ha desviado antes de llegar a ellos. Esta es la causa del color del cielo. Al suprimir el azul de la luz blanca que recibimos del sol, lo vemos de color amarillo.

❹ También al amanecer el cielo y el sol muestran un tono rojizo. ¿Por qué?

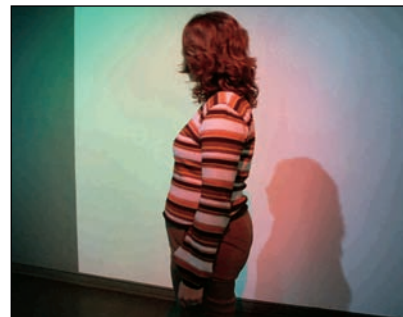
Al amanecer -al igual que al anochecer- el sol está muy "inclinado", por lo que su luz debe realizar un largo recorrido, atravesando la atmósfera, para llegar a nuestros ojos. La luz solar no llega directamente, como lo hace de día, por lo que sufre una gran dispersión. El color que percibimos -el rojo- es el que menor dispersión sufre.

## • Módulo: Sombras de colores.

### Durante la visita (en el Museo)

#### ¿Qué ha ocurrido?

Analizaremos en este módulo la suma de colores. Tres focos con los colores básicos de la luz iluminan una pared blanca. La combinación de los tres colores produce luz blanca en la citada pared. Obviamente, la pared aparece de color blanco, pero solamente en su zona central, donde la luz de los tres focos confluye de forma similar. En los márgenes, por el contrario, es visible la intensidad del foco más cercano, por lo que la luz tiende a adoptar ese color:



Si un alumno se sitúa (de pie) entre los tres focos y la pared, aparecen en ésta tres zonas sombreadas. Cada una de dichas sombras es el resultado de la combinación de la luz de dos focos, ya que la luz del tercer foco no llega a la pared, debido a que el alumno se interpone en la zona de sombra. La apariencia sombreada de las citadas zonas se debe a que su iluminación es más débil que en los márgenes de la pared (sigue siendo de color blanco), ya que en aquéllas se concentra la luz de dos focos. En las zonas blancas, por el contrario, la de tres focos.

La sombra producida por la combinación de luz roja y verde es amarilla; la producida por la de luz verde y azul, cian; por último, la producida por la combinación de luz roja y azul, magenta. Las sombras son, por tanto, de los tres colores secundarios.

### Después de la visita (de nuevo en clase)

#### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Por qué ha cambiado el color de la pared cuando se han cambiado los focos que la iluminaban (porque habéis producido sombra al cubrir con el cuerpo)? Porque la pared es blanca, es decir, refleja toda la luz que recibe. Por tanto, al iluminarla con luz blanca (formada por la suma de los colores básicos de los tres focos), se ve de color blanco. Pero si se ilumina la pared de color cian o magenta (formados por la suma de las luces de dos focos, tapando el tercero), se ve de uno de los citados colores, porque refleja dichas luces.

❷ ¿Podemos afirmar que un objeto es de determinado color (azul, por ejemplo)?

Evidentemente, no. Si una superficie es normalmente de color azul, se debe a que, al ser iluminada con luz blanca, absorbe todos los colores -a excepción del azul- y refleja éste. Pero si se ilumina el objeto con una luz que no contiene el color azul (con luz roja, por ejemplo), la absorbe completamente y no refleja color alguno. El objeto se ve, pues, de color negro. Por tanto, el color del objeto depende del propio objeto, pero también de la luz que lo ilumina.

## • Módulo: Resta de colores.

### Durante la visita (en el Museo)

#### ¿Qué ha ocurrido?

En este módulo, por el contrario, estudiaremos la resta de colores. El filtro colocado en la trayectoria de la luz absorbe alguno de los colores de la luz blanca, dejando pasar al resto. En el caso del filtro amarillo, por ejemplo, nuestros



ojos ven el filtro de dicho color porque refleja el rojo y el verde y absorbe el azul. Al pasar por el filtro, la luz blanca pierde el azul y la pared del otro lado se ve de color amarillo, debido a la combinación del rojo y el verde. Dicha pared es "blanca", es decir, refleja toda la luz que recibe, motivo por el que la vemos del citado color. Idéntico proceso se produce con los filtros de color cian y magenta.

Al tratarse de filtros de colores secundarios, cada uno de ellos absorbe un color básico. Si se combinan dos filtros entre sí, absorben dos colores básicos, mientras que el tercero atraviesa el filtro y se hace visible en la pared. La combinación de los filtros amarillo y magenta, por ejemplo, provoca la absorción del azul y del verde, por lo que únicamente llega a la pared el color rojo. Otro tanto sucede con las otras dos posibles combinaciones de colores. Por último, si se combinan los tres filtros, son absorbidos los tres colores básicos y no pasa la luz. La pared del otro lado, por consiguiente, se ve de color negro (oscura, más bien, ya que recibe algo de la luz ambiental procedente del resto de los focos de la habitación).

### Después de la visita (de nuevo en clase)

#### ¿Por qué ha ocurrido?

○ Cita un ejemplo de este fenómeno relacionado con la vida cotidiana.

El de la ropa es un ejemplo de fácil comprensión. Cuando nos hallamos en una tienda de ropa, las prendas tienen un determinado color; pero éste cambia al salir a la calle. Obviamente, este fenómeno se debe al cambio de luz que ilumina la ropa. La luz que ilumina la prenda en el interior de la tienda no es, probablemente, blanca, pero sí lo es la luz del sol en el exterior.

# 5 Otras **características de la luz.**

## ► Recuerda

### 1. ¿Qué son las interferencias entre ondas?

La interferencia se produce cuando dos ondas (o más) coinciden en el mismo punto del espacio. Según el principio de superposición, la interferencia puede sumar el efecto que producen dos ondas y crear una onda de mayor o de menor amplitud (interferencia constructiva o destructiva).

### 2. ¿En qué dirección vibran, normalmente, los campos eléctricos y magnéticos que forman la luz?

La luz es una onda transversal, es decir, la dirección de la perturbación es perpendicular a la dirección de la propagación. La perturbación -en la luz- es la vibración de los campos eléctricos y magnéticos (siempre perpendiculares entre sí), pero se considera la dirección de vibración del campo eléctrico como la dirección de la perturbación. Tal como apuntábamos anteriormente, la luz normal es la combinación de muchas ondas, por lo que dichos campos vibran en cualquier dirección (siempre dentro del plano perpendicular a la dirección de propagación).

### 3. ¿Qué es la polarización de la luz? ¿Qué tipos de ondas se polarizan?

Cuando la luz se polariza, se limita la dirección de vibración de sus campos. Si la polarización es -por ejemplo- lineal, los campos eléctricos de las ondas vibran en una única dirección (los campos magnéticos lo hacen perpendicularmente a ésta).

Así pues, para que se produzca la polarización la onda debe ser transversal, ya que la dirección de la perturbación de las ondas longitudinales es única -debido a que coincide con la dirección de la propagación-, por lo que es imposible limitarla.

## • Módulo: Burbujas de colores.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

Cuando se forma la burbuja de jabón, ésta recibe la luz de su entorno. La burbuja, por muy delgada que sea, cuenta con una superficie interior y otra exterior. Cuando la luz llega a la superficie exterior; parte de ella se refleja y parte pasa al interior de la burbuja al cambiar de medio -se refracta-, tal como sucede en el módulo *La cara oculta*.

Al llegar la luz a la superficie interior de la burbuja se produce el mismo fenómeno: parte se refleja y vuelve al exterior; otra parte, por el contrario, pasa al interior.

Así pues, dos partes de la luz que incide en la burbuja se reflejan (en la superficie exterior e interior) y ambas se superponen cuando se dirigen a nuestros ojos: se ha producido una interferencia.

Las longitudes de onda no han sufrido cambios de fase en la parte reflejada en el exterior, ya que la onda se ha desplazado por el aire en todo momento. La parte reflejada en la superficie interior; en cambio, se ha desplazado a través del jabón. Puesto que las longitudes de onda se propagan a distinta velocidad en el citado medio, se han producido cambios de fase entre los colores. Por consiguiente, las ondas correspondientes a algunos colores se han unido -según el grosor de la membrana de la burbuja (suele ser de varios micrómetros)- al interferir con parte de la otra onda. Las correspondientes a otros colores, por el contrario, se han anulado. Por esta razón algunos colores se ven reflejados en las burbujas, y otros no.



## Después de la visita (de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

o ¿Cómo se producen los colores que has visto en las burbujas de jabón? ¿Son producto de la dispersión de la luz?

La refracción no tiene importancia en este caso, ya que, al tratarse de una lámina de jabón muy fina, no hay espacio para que la luz se disperse en colores. Es cierto que el jabón es un medio diferente y que la luz no se propaga en él a la misma velocidad que en el aire. Sin embargo, la lámina es demasiado fina para que dicho cambio de velocidad provoque un cambio de dirección perceptible de las ondas (de los colores).

Además, la fuente de luz debería estar en el interior de la burbuja para que los colores visibles fueran producto de la dispersión y llegaran a nuestros ojos tras atravesar la lámina y dispersarse. Es evidente que no hay fuentes de luz en el interior de cada burbuja, y que los colores que vemos -la luz que percibimos- llegan a nuestros ojos procedentes de fuentes situadas en el exterior, tras reflejarse en la lámina de jabón.

## • Módulo: Hologramas.

**Durante  
la visita**  
*(en el Museo)*

### ¿Qué ha ocurrido?

El procedimiento para hacer hologramas y la teoría que lo sustenta están lejos de los conocimientos de los alumnos de enseñanza secundaria, dada la complejidad de la materia. No hemos explicado, por ejemplo, en qué consiste una onda coherente, o por qué debe ser coherente la luz que se utiliza para hacer hologramas. Nos hemos limitado, pues, a exponer algunos aspectos generales del tema, sin profundizar.



## • Módulo: Magia con la luz.

### Durante la visita (en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

La polarización, por el contrario, es un concepto que los alumnos de bachillerato deben conocer, por lo que hemos planteado preguntas al respecto en el apartado *Recuerda*. A continuación, hemos solicitado a los estudiantes que propongan hipótesis sobre lo que sucederá.

Al pasar la luz por el primer filtro polarizador, se limita la dirección de vibración de los campos electromagnéticos. Una vez que la luz ha pasado, los campos vibran en una única dirección, que depende de la situación del polarizador. Por tanto, las ondas que vibraban en una dirección perpendicular a aquél no han pasado (han sido absorbidas); de las que vibraban en una dirección intermedia, solamente ha pasado una parte (la correspondiente al componente de los campos en esa dirección impuesta por el polarizador). Por tanto, toda la luz que ha pasado vibra en esa única dirección.

Si se coloca el segundo filtro encima del primero, se aprecian cambios. Si la dirección de vibración que deja pasar el segundo polarizador no coincide con la del primero, únicamente pasa el componente de la onda correspondiente a la dirección permitida; el componente perpendicular, en cambio, es absorbido. Por consiguiente, si coinciden las direcciones de ambos polarizadores, no se produce cambio alguno; pero si son perpendiculares, absorben toda la luz y no pasa nada al otro lado, se ve oscuro. El proceso de oscurecimiento se observa claramente al pasar de una posición a otra.



## • Módulo: Luz rota.

**Durante  
la visita**  
(en el Museo)

### ¿Qué ha ocurrido?

La luz -obviamente- sale polarizada del primer filtro polarizador (del fijo) y los campos vibran en una única dirección. La lámina de celofán desvía la dirección de la polarización, pero no de modo uniforme: las diferentes longitudes de onda (los diferentes colores) salen de la lámina con diferentes direcciones de polarización. Por otra parte, al pasar de un medio a otro del celofán cambia el color que opta por una dirección determinada. El celofán, sin embargo, no es un filtro, no absorbe éste o aquel color: todos ellos atraviesan la lámina, mezclados, pese a que los diferentes colores se polarizan en diferentes direcciones. Por esta razón vemos que la luz blanca ha atravesado el celofán.

Sin embargo, la situación cambia al atravesar el segundo filtro. Este polarizador permite únicamente el paso de las ondas que vibran en una sola dirección (o la del componente que tienen las ondas en dicha dirección). Por tanto, algunos colores (los de las ondas que vibran en dicha dirección) son visibles en toda su intensidad; otros, a medias, ya que no disponían más que de un componente en dicha dirección; otros, por último, no son visibles (aparecen oscuros) debido a que las ondas correspondientes vibran perpendicularmente a la dirección permitida.

Si se gira el citado filtro polarizador, cambia la dirección permitida. Si se gira  $90^\circ$ , el color que antes no era visible se ve ahora en toda su intensidad; el que antes se veía bien, aparece ahora oscuro; y el que antes era visible a medias sigue siéndolo también ahora, ya que está pasando el otro componente. Si se gira el filtro en un ángulo diferente, cambia la situación.



## Después de la visita (de nuevo en clase)

### ¿Por qué ha ocurrido?

❶ ¿Cómo ha salido la luz después de atravesar el filtro polarizador fijo?

La luz, evidentemente, ha salido polarizada. El campo, por su parte, vibra en una única dirección.

❷ Entonces, ¿por qué era visible la luz blanca tras atravesar la lámina de celofán?

Porque el celofán no es un filtro, no absorbe la luz, por lo que todos los colores (mezclados) han atravesado la lámina. Por esta razón hemos visto a la luz blanca atravesar el celofán.

❸ ¿Por qué han aparecido zonas coloreadas cuando has colocado el segundo polarizador sobre la lámina de celofán?

Tras atravesar el segundo filtro, este polarizador ha permitido el paso de las ondas que vibran en una única dirección. Por tanto, algunos colores (los de las ondas que vibran en dicha dirección) son visibles en toda su intensidad; otros, a medias, ya que no disponían más que de un componente en dicha dirección; otros, por último, no son visibles (aparecen oscuros) debido a que las ondas correspondientes vibran perpendicularmente a la dirección permitida.





---

ZIENTZIAREN KUTXAGUNEA  
KUTXAESPACIO DE LA CIENCIA