

**COMO HACER COMPENSIBLES LOS DIBUJOS QUE SUELEN ILUSTRAR LA  
FORMACIÓN DE IMÁGENES**

**HOW TO MAKE COMPREHENSIBLE THE DRAWINGS THAT USSUALLY ILLUSTRATE  
IMAGE FORMATION**

**A.L. Pérez Rodríguez<sup>[1]</sup>, M.I. Suero López, P.J. Pardo Fernández y J. Gil Llinás**

Grupo ORIÓN. Área de Óptica. Dpto. de Física. Universidad de Extremadura

Avda. de Elvas s/n 06071 Badajoz. España, e-mail: aluis@unex.es

**Resumen**

La mayoría de los libros de Física de Enseñanza Secundaria, cuando tratan de explicar la formación de imágenes, incluyen ilustraciones aclaratorias, sin embargo, algunas de ellas pueden desconcertar al lector que pretenda entender lo que con ellas se quiere explicar. En este trabajo se han seleccionado 5 ilustraciones que consideramos problemáticas, que aparecen en los libros de texto, y se han acompañado de una pregunta cada una para determinar si podían ser interpretadas correctamente. Estas ilustraciones han sido presentadas a un total de 231 profesores de física de los cuales menos de un 10% supieron darle algún tipo de interpretación. No se pretende profundizar en una discusión de tipo “conceptual”, ni mucho menos en una determinación geométrica “cuantitativa”, sino simplemente comunicar el problema detectado y proponer una “técnica” que hemos puesto a punto y que se ha rebelado eficaz para ayudar a la interpretación “cualitativa” correcta de estas ilustraciones confusas relativas a la formación de las imágenes que, con frecuencia aparecen en los libros de texto.

**Palabras clave:** Enseñanza, Ciencia, Física, Óptica, visión, objeto e imagen

## **Abstract**

Most of the books about Physics in Secondary Education include explanatory illustrations to explain image formation. However, some of them can confuse the reader that tries to find out the meaning of these images. In this work we have selected 5 illustrations (found in textbooks) that we consider being problematic.

We have added a question to each illustration in order to determine if they could be correctly interpreted. These illustrations have been presented to a total of 231 professors of physics of which less than a ten percent were able to find out any kind of information from them.

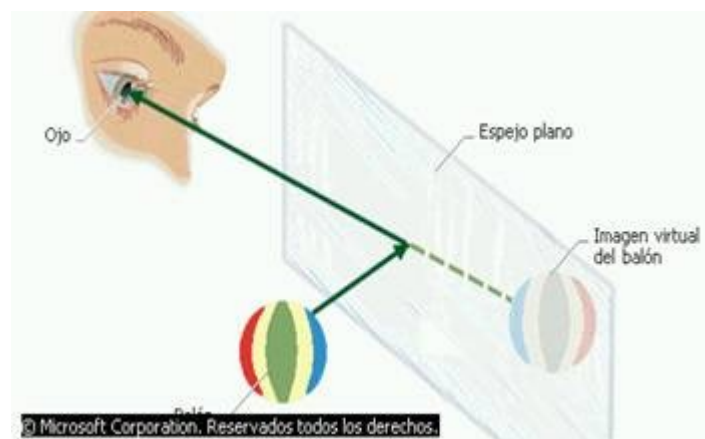
We are neither trying to deepen in a "conceptual discussion", nor in a "quantitative" geometric determination; our target is simply to communicate the detected problem and to propose a "technique" that we have developed. This technique has been demonstrated to be effective to help to the "qualitative" correct interpretations of these confuse illustrations that frequently appear in textbooks.

**Keywords:** Teaching, Science, Physics, Optics, vision, object and image

## **INTRODUCCIÓN**

La mayoría de los libros de Física de Enseñanza Secundaria que tratan de explicar la formación de imágenes incluyen ilustraciones que pretenden servir de ayuda para una mejor comprensión de dicho fenómeno. Sin embargo en un elevado porcentaje de casos, estas ilustraciones no sólo no pueden servir de ayuda alguna, sino que llevan al desconcierto al lector que pretenda entender lo que con ellas se quiere explicar. Esta situación se repite en numerosos artículos que aparecen tanto en papel como en soporte electrónico, como por ejemplo esta figura que aparece en la Enciclopedia Microsoft Encarta, que pretende explicar, cómo vemos la imagen que el espejo da del balón.

En este trabajo hemos seleccionado un conjunto de 5 ilustraciones consideradas problemáticas, que aparecen en los libros de texto, y que hemos acompañado de una pregunta cada una para determinar si podían ser interpretadas correctamente. Estas ilustraciones se las hemos presentado a un total de 231 profesores de Física. El desconcierto que ha supuesto para la mayoría queda reflejado en la frase con la que resumió uno de ellos su perplejidad: *“Llevo mas de 20 años utilizando esta ilustración para explicar*



*a mis alumnos la formación de la imagen de la moneda que está en el fondo del vaso con agua y ahora me doy cuenta que yo mismo no sé interpretarla” (ver figura 1 o de la moneda. Dicha figura, en la que se representa un solo rayo, no puede ser interpretada porque no ofrece información suficiente para explicar la formación de la imagen en el lugar donde*

aparece).

Aunque concedemos una gran importancia a los temas relacionados con la parte conceptual de la Física, como queda de manifiesto en los numerosos trabajos que a ella hemos dedicado (Montanero et al., 1996; Rubio et al., 1995; Calvo et al., 1992; Suero et al., 1995, 1999, Pérez et al., 1993, Gil et al., 2003), en esta ocasión no pretendemos profundizar en una discusión de tipo “conceptual”, ni mucho menos en una determinación geométrica “cuantitativa”, sino simplemente comunicar el problema detectado y proponer una “técnica” que hemos inventado y que se ha revelado eficaz para ayudar a la interpretación “cualitativa” correcta de estas ilustraciones.

Debemos aclarar que no proponemos la utilización de esta “técnica” como método general para explicar la formación de las imágenes, sino como “denuncia” de la inutilidad de las ilustraciones que con frecuencia aparecen tanto en los libros de texto como en páginas web sobre el tema, y que, si el profesor no está avisado, no solo no aclaran, sino que dificultan seriamente a los alumnos la comprensión de este fenómeno. En nuestro libro de texto publicado por la editorial Santillana (Grupo Orión, 2001), se recoge nuestra manera de explicar este tema, y las ilustraciones que para ello utilizamos.

## **LAS ILUSTRACIONES PROBLEMÁTICAS**

Las figuras de la 1 a la 5 muestran imágenes que han sido fotocopiadas de libros de texto de Enseñanza Secundaria y que consideramos que no pueden servir para lo que han sido realizadas: ilustrar la formación de las imágenes. Como se observa, cada figura incluye una pregunta que sirve para poner de manifiesto si puede ser interpretada correctamente.

Con la figura 1 se intenta representar la imagen de una moneda sumergida en un recipiente lleno de agua vista desde el aire: el rayo procedente de un extremo de la moneda asciende por el agua y al pasar al aire varía su dirección y llega al ojo. La imagen de la moneda se forma prolongando hacia atrás el rayo que llega al ojo (el cerebro no sabe que el rayo se ha doblado y “ve” en esa dirección la imagen. Pero ¿Por qué está la imagen de la moneda encima de la moneda?, ¿Por qué no está, por ejemplo, donde acaba la flecha?.

Con la figura 2 se intenta representar la imagen que se vería desde el aire de un bastón sumergido parcialmente en el agua: el rayo procedente del extremo del bastón asciende por el agua y al pasar al aire varía su dirección y llega al ojo. La imagen  $A'$  del extremo del bastón  $A$  se forma prolongando hacia atrás el rayo que llega al ojo (el cerebro no sabe que el rayo se ha doblado). Nuestra experiencia nos dice que el bastón parece doblarse hacia arriba, pero según la figura ¿Por qué no se ve la imagen de  $A$  en  $A''$  y, por lo tanto, el bastón aparece doblado hacia abajo?

La figura 3 representa la imagen  $P'$  que un espejo plano da de un punto  $P$ : Desde el punto  $P$  se trazan dos rayos que se reflejan en el espejo según las leyes de la reflexión. Los rayos reflejados, divergentes, se prolongan hacia atrás, hacia dentro del espejo y donde se corten, allí está la imagen  $P'$ . Pero ¿qué tiene que ver este razonamiento con que se vea el punto  $P$  en  $P'$ ? ¿Dónde dibujamos el ojo que está viendo en  $P'$  la imagen del objeto  $P$ ?

La figura 4 representa la imagen  $A'B'$  que un espejo plano da de un objeto extenso  $AB$ : Desde cada uno de los puntos extremos  $A$  y  $B$  del objeto se trazan dos rayos que se reflejan en el espejo. Cada par de rayos reflejados, divergentes, se prolongan hacia dentro del espejo y donde se corten, allí están los extremos de la imagen  $A'B'$ . Nos planteamos las mismas preguntas que antes: ¿Qué tiene que ver este razonamiento con que se vea el objeto  $AB$  en  $A'B'$ ? ¿Dónde dibujamos el ojo que está viendo la imagen del objeto  $AB$  en  $A'B'$ ?

La figura 5 representa la imagen  $A'B'$ , de un objeto extenso  $AB$ , vista a través de una lente delgada convergente: Desde cada uno de los puntos extremos  $A$  y  $B$  del objeto se trazan dos rayos, uno pasa por el centro óptico de la lente y se refracta sin variar de dirección; el otro llega a la lente, paralelo al eje de ésta y se refracta pasando por el foco. Cada par de rayos refractados, que son divergentes, se prolongan hacia atrás y donde se corten allí está la imagen  $A'B'$ . Nos podríamos plantear los mismos interrogantes que antes y concluir preguntando: ¿Dónde dibujamos el ojo que está viendo la imagen del objeto  $AB$  en  $A'B'$ ?

Proponemos al lector que interrumpa la lectura y trate de encontrar la respuesta a los 5 interrogantes planteados antes de seguir leyendo.

## FUNDAMENTO TEÓRICO

Se conoce como punto imagen de un punto objeto  $O$  a través de un sistema óptico, a aquel punto del espacio en el que se cortan los rayos que, procedentes de  $O$ , atraviesan dicho sistema óptico. Es evidente que para determinar la posición del punto imagen, al tener que localizarse dicho punto de corte, es necesario conocer la trayectoria de al menos 2 de los rayos procedentes del punto objeto.

Así en la tercera edición del libro de Óptica de Hecht (2000), puede leerse: “*Para encontrar la imagen*

*del objeto...Ya que todos los rayos que salen de una fuente puntual en un cono paraxial llegarán al punto imagen, dos rayos cualesquiera de ese haz serán suficientes para fijar tal punto".(el subrayado es nuestro)*

Por otra parte, desde el punto de vista didáctico, son varios los autores que han descrito la dificultad de los alumnos para interpretar lo que ven en dispositivos ópticos sencillos aplicando los procedimientos aprendidos en clase para representar la formación de imágenes (Goldberg y McDermott, 1986; Salinas y Sandoval, 1999).

Con la técnica descrita en este trabajo se pretende ayudar a los alumnos a interpretar los dibujos que ilustran la formación de las imágenes en algunos libros de texto.

## **EL RAZONAMIENTO ADECUADO Y LOS CUIDADOS DIDÁCTICOS**

Las figuras 6 y 7 muestran el razonamiento que proponemos para comprender por qué prolongando hacia atrás los rayos que llegan al ojo procedentes de un mismo punto objeto, éstos se cortan en el lugar que ocupa la imagen de ese punto.

En la figura 6 se pone de manifiesto que de los rayos que llegan al ojo, el cerebro identifica cuales poseen una serie de características comunes y los interpreta como procedentes de un mismo punto. A partir de la divergencia de los rayos procedentes de un mismo punto, el cerebro evalúa donde está situado dicho punto (evalúa la distancia), y allí lo "ve" (la experiencia le dice que si alarga la mano hasta allí lo podrá tocar). De esta forma se entiende que en la figura 7 veamos la imagen de A en A': Si tenemos un punto en A y un espejo plano, los rayos que llegan al ojo son los mismos que si el punto estuviera en A', y no hubiese espejo. Allí "ve" el cerebro el punto del que proceden los rayos que llegan al ojo ("El ojo recibe y el cerebro interpreta") y supone que si alarga la mano hasta allí lo podrá tocar (cosa que a veces se intenta llegando a golpearse con el espejo).

Como a la mayoría de las personas a las que se le han presentado estas ilustraciones la respuesta no les ha resultado nada fácil, para ayudar a evitar estos problemas, hemos elaborado unos cuidados didácticos que proponemos que sean tenidos en cuenta para conseguir que nuestras ilustraciones sean realmente útiles:

- 1.- Construir imágenes de puntos, nunca de objetos extensos(en la figura 9 se recogen 3 ejemplos a evitar). La imagen de un objeto extenso debe obtenerse punto a punto.
- 2.- Trazar al menos dos rayos procedentes de cada punto objeto y que ambos lleguen a un mismo ojo.
- 3.- En las imágenes reales, no terminar los rayos en el punto en que se cortan (lugar donde se forma la imagen), sino prolongarlos dirigiéndolos hasta un ojo.

4.-El ángulo que formen los dos rayos debe ser lo más pequeño posible. Al contrario, si en el libro de texto aparecen ilustraciones en las que estos dos rayos se han dibujado muy separados, para conseguir que sean recogidos por un mismo ojo, compensarlo pintando el ojo muy grande (Técnica del Ojo Grande).

En la figura 9, se muestran varios ejemplos con los que se pretende ilustrar la formación de la imagen de un objeto extenso dibujando dos rayos que parten, cada uno, de uno de los extremos del objeto.

Ilustraciones de este tipo deben evitarse, ya que estas no justifican que las imágenes se vean donde están dibujadas ni, consiguientemente, del tamaño que, arbitrariamente, se les ha asignado.

## **MODIFICACIONES DE LAS ILUSTRACIONES PROBLEMÁTICAS**

Las figuras de la 10 a la 14 muestran las ilustraciones problemáticas presentadas complementadas e interpretadas mediante la “Técnica del Ojo Grande” de manera que puedan cumplir la función para la que fueron realizadas: servir de ilustración al fenómeno de la formación de las imágenes.

En la figuras 10 se muestra cómo es necesario trazar al menos dos rayos que lleguen al ojo desde un punto objeto. El cerebro "ve" el punto imagen en el lugar donde se corten las prolongaciones de los dos rayos procedentes de un mismo punto objeto. Con un rayo llegaría información solo de la dirección, pero para evaluar la distancia hacen falta al menos dos.

En la figura 11 con la “Técnica del Ojo Grande”, se explica fácilmente la ilustración del bastón: La imagen de A está en A' y no en A'' porque los rayos que llegan al ojo son los mismos que si el extremo del bastón estuviera en A' y no hubiera agua.

Tenemos que tener en cuenta que si los rayos salen muy separados de un punto objeto, como en la figura 12, habrá que dibujar un "ojo muy grande" para poder recibir los rayos reflejados por el espejo.

De la misma forma en las figuras 13 y 14, que muestran la formación de imágenes de objetos extensos, trazamos dos rayos de cada uno de los puntos extremos del objeto, A y B. Allí donde se cortan las prolongaciones de los rayos que, procedentes de cada uno de los extremo llegan al ojo, veremos la imagen de dicho extremo y trazando un segmento desde A' a B' se puede formar la imagen del objeto extenso. Hay que tener en cuenta que para poder ver la imagen A'B' los rayos procedentes de ambos extremos tienen que llegar al ojo. Esto exige en ocasiones que dibujemos (o imaginemos) un ojo muy grande, tan grande como lo requiera nuestra representación ("Técnica del Ojo Grande").

## **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

De un colectivo de 156 profesores de Física y Química en activo, 62 alumnos del CAP licenciados en Física o en Química y 13 profesores de universidad doctores en Física, tan solo 4 (2 profesores de

secundaria, 1 alumno del CAP y 1 profesor de universidad) supieron dar una respuesta adecuada a las preguntas planteadas en las ilustraciones de la 1 a la 5. Sin embargo, una vez que les fue expuesta la "Técnica del Ojo Grande" la mayoría de ellos contestaron correctamente. Unos resultados tan "llamativos" dan una idea de la magnitud del problema detectado y nos permite concluir que:

1. Muchas de las ilustraciones que acompañan a las explicaciones acerca de la formación de imágenes no solo no cumplen su objetivo de servir de aclaración, sino que contribuyen a confundir a los alumnos.
2. Casi ninguno de los encuestados ha sabido dar una explicación de por qué se ven las imágenes allí donde se dibujan.
3. La "Técnica del Ojo Grande" permite eliminar las dificultades originadas por estas ilustraciones confusas.

## **ILUSTRACIONES EN NUESTRA PÁGINA WEB (ver abajo)**

Todas las ilustraciones que aparecen en este trabajo están incluidas en nuestra página Web ( <http://www.unex.es/~optica> o su mirror <http://www.grupoorioninvestigacion.com> ) en colores e interconectadas entre ellas de manera que pueden ser utilizadas de manera interactiva. Se encuentran formando parte del material didáctico que acompaña a nuestros MAPAS DE EXPERTO TRIDIMENSIONALES\*, dentro del Mapa Tridimensional de Óptica. Si quiere utilizarlas, bájese nuestros Mapas Tridimensionales, vaya al Mapa Tridimensional de Óptica, dentro de él al 2º Nivel de Elaboración (Teoría de la Elaboración de Reigeluth y Stein) y en las Ayudas del mismo, en la parte de Preconcepciones, encontrará un vínculo a estas ilustraciones.

\*Este trabajo fue distinguido con el 2º Premio Nacional de Investigación Educativa, 1998.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Calvo J. L., Suero M. I., Pérez A. L., Peña J. J., Rubio S., Montanero M. "Preconcepciones en Dinámica: su persistencia en niveles universitarios". *Revista Española de Física*. 6, [3], 39-43, 1992.

Grupo Orión. *Física 2*. Ed. Santillana, España, 2001, p. 150-171.

Gil J., Suero M. I., Pérez A. L., Solano F. “Preconcepciones en Óptica: su persistencia en niveles universitarios”. *Journal of Science Education*\_7, 2003.(En impresión)

Goldberg F., McDermott L. “Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror”. *The Physics Teacher*,1986.

Hecht E. *Óptica*,Addison Wesley Iberoamericana S.A., España, 2000, p. 166.

Montanero M., Suero M.I., Pérez A. L. “El quién-qué-cuál de las fuerzas”. *Alambique* 7, 97-110, 1996.

Pérez A. L., Suero M.I., Calvo J. L., Peña J. J., Montanero M., Rubio S. *Preconcepciones y errores conceptuales en Mecánica*, *Actas de la XXIV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física. Tomo II*. Jaca. DI 18-20, 1993.

Rubio S., Calvo J. L., Suero M. I., Pérez A. L., Peña J. J., Montanero M. *Misconceptions about heat and temperture. Thermodynamics and Statistical Physics (Teaching Modern Physics)*, World Scientific. Editors M.G. Velarde and F. Cuadros. Badajoz. 282-286. ISBN: 981-02-2417-6, 1995.

Suero M. I., Pérez A. L., Calvo J.L., Montanero M., Peña J.J., Rubio S. *Enseñanza de la Física desde una perspectiva constructivista en los diferentes niveles del sistema educativo: determinación de preconcepciones y su corrección mediante el uso de mapas conceptuales*. Proyecto Financiado por el C.I.D.E. 1995.



Salinas J., Sandoval J. “Formación y percepción visual de imágenes producidas por prismas: Concepciones de los estudiantes”. *Revista Española de Física* 13, [4], 38-43, 1999.

**Páginas web donde aparecen ilustraciones confusas**

<http://www.chaddysi.8m.com/sight/waves.html>

[http://www.hokaar.org/ph203/ph203\\_q.htm](http://www.hokaar.org/ph203/ph203_q.htm)

<http://www.colorado.edu/physics/phys1230/txcorp/lightsite/optics/refraction/boyFish.html>

<http://www.hokaar.org/gs202/Lab202h/lab202.htm>

