

# PROBLEMÁTICA DE LA ENSEÑANZA

## OBJETOS E IMÁGENES REALES Y VIRTUALES EN LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA<sup>(1)</sup>.

JULIA SALINAS  
JOSÉ SANDOVAL

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán  
Av. Independencia 1800. CP 4000. San Miguel de Tucumán. Argentina

### RESUMEN

Las imágenes virtuales (y en mayor medida, los objetos virtuales) presentan especiales dificultades a muchos estudiantes, tanto en la realización de diagramas de rayos, como en el paso de tales diagramas a la situación experimental y viceversa. Más aún: en muchos alumnos tampoco hay una adecuada comprensión de la noción de imagen real y en general hay una acentuada dificultad para definir a qué se llama objeto en óptica.

En el trabajo presentamos las características generales de un programa de actividades teórico-experimentales que puede favorecer una mejor comprensión del significado físico de estos conceptos.

### ABSTRACT

Many students don't understand the notions of "virtual image" and "virtual object": they can't draw correct ray diagrams or connect ray diagrams with experimental situations. Even more: many students don't understand the notion of "real image" and they can't say what is an "object" in Optics.

In this article we present a program of theoretical-experimental activities which can promote a better physical comprehension of these concepts.

### 1.- INTRODUCCIÓN.

La investigación educativa en Física ha contribuido a echar luz sobre diversas dificultades que se presentan en el aprendizaje de la óptica geométrica.

Se ha señalado que después de la instrucción la mayoría de los alumnos no es capaz de conectar la descripción formal de la formación de imágenes con lo que se ve en dispositivos ópticos

sencillos (Goldberg y McDermott 1986 y 1987; Pesa et al. 1993; Pesa 1997). Se ha enfatizado la necesidad de incorporar el ojo del observador en la discusión en el aula de los fenómenos ópticos (Ronen y Eylon 1993; Salinas y Sandoval 1994 y 1997; Sandoval y Salinas 1995).

Se ha mostrado también que en porcentajes importantes, los conocimientos de los estu-

<sup>(1)</sup> Una versión previa de este trabajo ha sido presentada en la Décima Reunión Nacional de Educación en Física (Mar del Plata, Argentina, 1997) y aparece publicada entre las páginas 267 y 284 de las Memorias de dicha reunión.

diantes que han realizado cursos de óptica aparecen como un híbrido entre sus concepciones preinstruccionales no científicas y el saber científico de la disciplina (Galili et al. 1993; Galili 1996).

En general, estos resultados permiten concluir que luego de la instrucción formal en óptica geométrica, muchos estudiantes:

- revelan serias incomprendiciones del proceso de formación de una imagen en un dispositivo óptico experimental concreto, aún cuando sean capaces de realizar correctos diagramas de rayos;
- manifiestan severas confusiones entre los procesos de formación y de percepción visual de imágenes.

En la práctica docente en ciclos básicos universitarios advertimos que las *imágenes virtuales* (y, en mayor medida, los objetos *virtuales*) presentan especiales dificultades a muchos estudiantes, tanto en la realización de diagramas de rayos como en el paso desde el diagrama de lápiz y papel hacia la situación experimental y viceversa.

En este nivel educativo es común tratar con imágenes virtuales. Generalmente los casos de la imagen formada por un espejo plano y de la profundidad aparente de un objeto sumergido en agua se tratan al inicio del curso, como ejemplos simples de la reflexión y la refracción de la luz y de la formación de imágenes virtuales.

Más tarde, a lo largo del desarrollo de la óptica geométrica, las imágenes virtuales aparecen una y otra vez al estudiar el comportamiento de espejos esféricos, lentes y sistemas ópticos sencillos.

Sin embargo, la noción de "imagen virtual" no parece estar clara ni siquiera en las etapas finales del curso (Salinas y Sandoval 1997).

Mucha menos atención suele prestarse en la instrucción a la idea de "objeto virtual", a pesar de que es conveniente recurrir a ella para entender el proceso de formación de imágenes por dispositivos sencillos como los que se consideran en la mayoría de los cursos de óptica geométrica a nivel universitario básico.

A este respecto, comentaremos aquí brevemente los resultados obtenidos en una sesión de trabajo en un laboratorio para estudiantes de segundo año de ingenierías que fue diseñada para sistematizar comportamientos sugeridos

por la práctica docente.

La sesión en cuestión se realizó a posteriori del tratamiento en clase teórica y a la resolución de problemas estándar "de lápiz y papel" sobre lentes y sistemas de lentes.

Ubicamos frente a 24 estudiantes un banco óptico sobre el que montamos una lámpara incandescente *apagada*, una lente convergente y una pantalla y les pedimos responder por escrito e individualmente la siguiente cuestión:

a) Sabiendo que la lámpara está a una distancia mayor que la distancia focal  $f$  de la lente convergente, realizar sobre un papel un diagrama que permita encontrar gráficamente la imagen de la lámpara encendida y describir sus características.

Una vez que todos habían respondido, les planteamos una segunda cuestión, para la que se incorporó una lente divergente al sistema montado sobre el banco óptico, siempre con la lámpara incandescente *apagada* (También en este caso se solicitó la elaboración individual de respuestas escritas):

b) Una vez obtenida esa imagen de la lámpara encendida, se intercala una lente divergente entre dicha imagen y la lente convergente. *Sobre el mismo diagrama utilizado para el ítem a)*, pero con otro color de lápiz o tinta, realizar un diagrama que permita encontrar gráficamente la imagen final y describir sus características.

Se recogieron las respuestas, se realizó la experiencia y se analizaron colectivamente los comportamientos observados, a la luz de las explicaciones y predicciones presentadas por los estudiantes. Aquí interesa analizar esas explicaciones y predicciones previas al debate y clarificación en plenario de la cuestión.

En sus respuestas al primer apartado, todos los estudiantes (el 100% de la muestra) realizaron correctamente el diagrama de rayos y caracterizaron a la imagen como "real e invertida". Varios mostraron además en los esquemas que el tamaño de la imagen podía ser mayor o menor al del objeto (según éste estuviera separado de la lente por una distancia menor o mayor a  $2f$ ).

Pero los resultados fueron muy diferentes al pasar al apartado b). De los 24 alumnos, 8 (el 33% de la muestra) no respondieron. Del resto,

4 (el 17%) presentaron esquemas incomprensibles que no pudieron explicar ni justificar más tarde al pedírseles verbalmente que los aclararan y 12 (el 50%) trazaron diagramas incorrectos, del tipo mostrado en la Fig. 1, en los que trata-

ban al objeto virtual como si fuera un objeto real. Es decir que todos los estudiantes tuvieron dificultades y ninguno pudo elaborar (ni siquiera esbozar) una respuesta correcta.

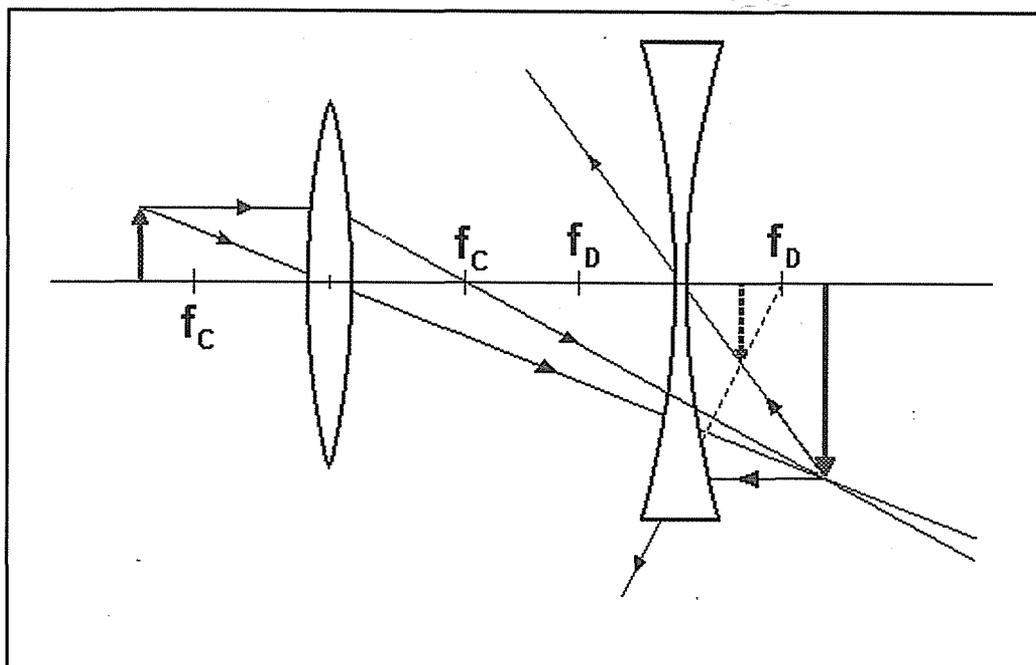


Fig. 1: Diagramas incorrectos realizados por los estudiantes.

En las conversaciones posteriores mantenidas con los alumnos al devolver sus respuestas comentadas, les pedimos que intentaran identificar el origen de sus confusiones. Los estudiantes pudieron enunciar diversas preguntas para las que no tenían respuesta: *¿qué había ocurrido con la imagen real que formaba la lente convergente, al intercalar la lente divergente? ¿se comportaba ahora como un objeto real, una imagen virtual, una imagen real, un objeto virtual? ¿qué tratamiento debía darse ahora a los rayos luminosos que antes convergían hacia dicha imagen real?*

Cuestiones como éstas no se aclaraban fácilmente recurriendo a la bibliografía (fueran libros "de teoría" o "de laboratorio"), pues en general el tema era eludido o la presentación se reducía a un listado de convenciones para los signos algebraicos o a reglas mnemotécnicas sin fundamento físico explícito.

Los estudiantes encontraron que Halliday y Resnick (1967), autores muy consultados en ciclos básicos universitarios, explicaban con

letra menuda que "en todos los casos en este libro la distancia del objeto  $o$  se tomará como positiva. En sistemas que combinan espejos y superficies refractoras es posible lograr que llegue luz convergente a la superficie óptica bajo estudio. En tales casos al objeto se le llama virtual y la distancia del objeto  $o$  es negativa. Nosotros limitaremos nuestras discusiones a objetos reales".

Ortega Girón (1978), por su parte, autor de un libro común en laboratorios de este nivel educativo, en lo que respecta a la distinción entre objetos e imágenes reales y virtuales se limitaba a decir que "para hacer un uso correcto de la fórmula de Gauss-Descartes hemos de tener en cuenta que se considera que los rayos luminosos avanzan de izquierda a derecha, los objetos son reales si están situados a la izquierda de la lente y son virtuales si están a la derecha, mientras las imágenes son reales si se forman a la derecha de la lente y son virtuales si se forman a la izquierda". Frente a comentarios como éstos, las preguntas de los estudiantes seguían, básicamente, sin respuesta.

**2.- OBJETOS E IMÁGENES REALES Y VIRTUALES:  
BREVE PRESENTACIÓN DE UN ANÁLISIS  
CIENTÍFICAMENTE CORRECTO.**

Dada una superficie refringente o reflectante, los rayos que inciden sobre ella pueden ser convergentes o divergentes. Análogamente, los rayos refractados o reflejados pueden converger o divergir. En la instrucción habitual, estas distintas posibilidades para la convergencia o divergencia de los rayos se pueden tratar,

además, de otras dos maneras diferentes pero equivalentes:

- por los signos algebraicos de las distancias objeto ( $o$ ) e imagen ( $i$ ),
- mediante los términos *real* y *virtual* (Sears 1979).

En la Fig. 2 los rayos incidentes divergen y los rayos refractados convergen. Tanto el objeto como la imagen son reales, y las distancias  $o$  e  $i$  son ambas positivas.

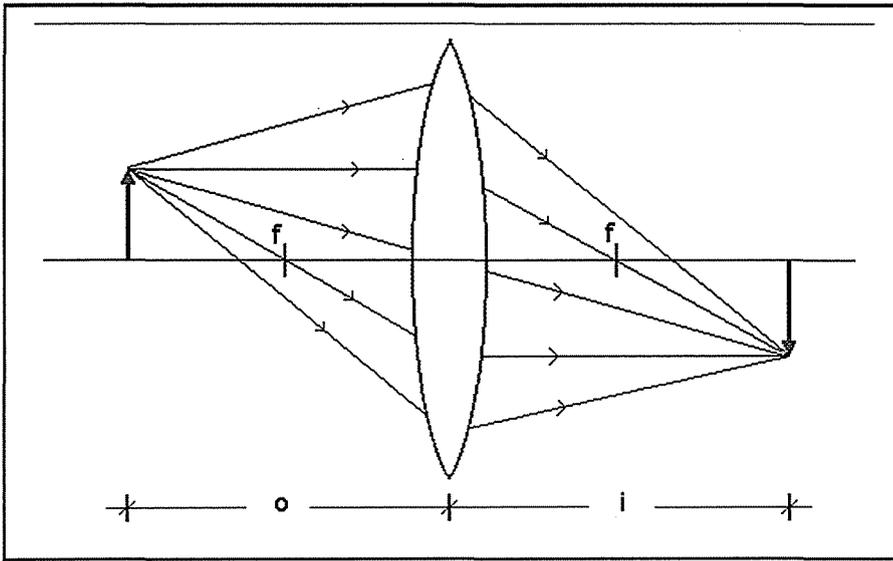


Fig. 2: Objeto real, imagen real.

En la Fig. 3 tanto los rayos incidentes como los refractados divergen. El objeto es real, la

imagen es virtual, la distancia  $o$  es positiva y la distancia  $i$  es negativa.

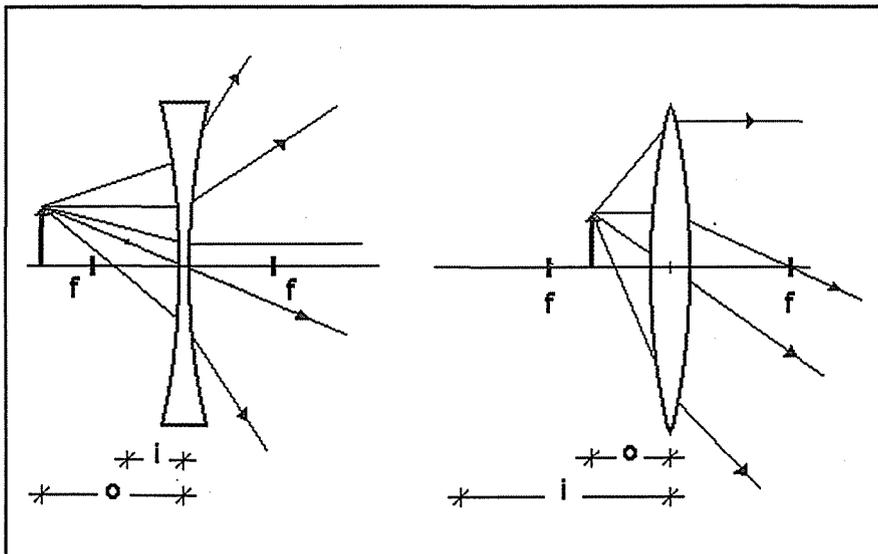


Fig. 3: Objeto real, imagen virtual.

Los casos con objetos virtuales son menos conocidos, en general no se tratan explícitamente en la instrucción, pero son comunes en los instrumentos ópticos. Ocurren siempre que una o varias superficies refringentes o refractantes interpuestas en el camino de los rayos luminosos han producido *un cono convergente de rayos*, que daría una imagen real si no se interpusiese una nueva superficie. Encontramos así una situación similar a la que confundía a los

estudiantes en el ejemplo de la introducción a este trabajo: al intercalar la lente divergente, la imagen real que formaba antes la lente convergente se comporta ahora como objeto virtual.

La distancia objeto  $o$  es la distancia desde la lente divergente hasta el punto donde se hubiera formado la imagen real si no se hubiera interpuesto la lente divergente. El signo de  $o$  es negativo.

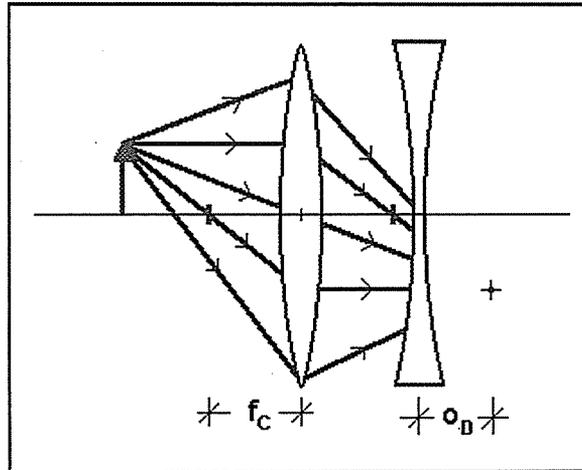


Fig. 4: Objeto virtual enfrentando a una lente divergente.

En síntesis, "cuando incide sobre una superficie un cono de rayos *convergente*, el punto hacia el cual convergen los rayos sirve como objeto para la superficie. Se le denomina *objeto virtual*, y la distancia objeto  $o$  es *negativa*" (Sears 1979).

Ese objeto virtual podrá producir una imagen real o una imagen virtual. El primer caso corresponderá a rayos que converjan después de la refracción en la lente divergente (como en la Fig. 5). En este caso, la distancia  $i$  será positiva.

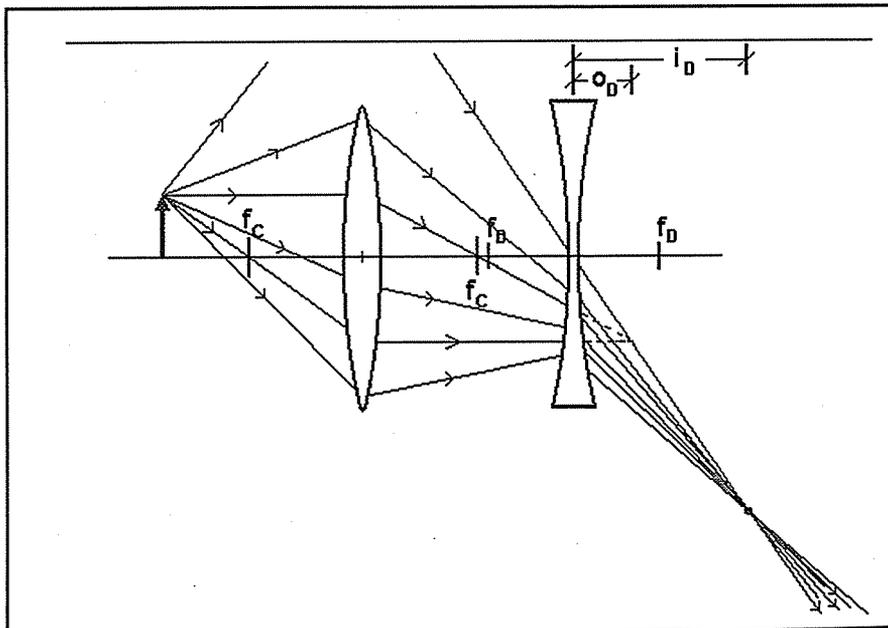


Fig. 5: Objeto virtual, imagen real de la lente divergente.

Si los rayos divergen luego de refractarse en la lente divergente, la imagen final será

virtual (como en la Fig. 6) y la distancia  $i$  será negativa.

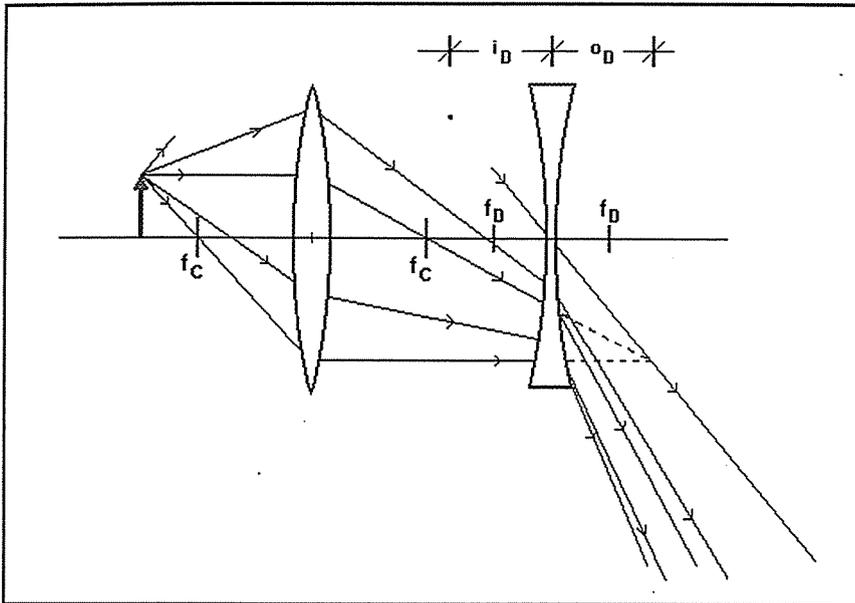


Fig. 6: Objeto virtual, imagen virtual de la lente divergente.

En los cursos de óptica geométrica básica universitaria se enseña a los estudiantes que en los sistemas ópticos constituídos por más de una superficie reflectante o refringente, la imagen formada por la primera superficie sirve de objeto para la segunda, la formada por la segunda sirve de objeto para la tercera, etc. A la luz de la generalizada incomprensión evidenciada por los estudiantes, parece imprescindible una explícita clarificación de las relaciones que existen entre:

- rayos convergentes y divergentes,
- distancias objeto e imagen positivas y negativas, y
- objetos e imágenes reales y virtuales,

a fin de favorecer un aprendizaje más comprensivo del comportamiento de estos sistemas.

Pasaremos ahora a la presentación de un programa de actividades (con experiencias de laboratorio simples y de bajo costo) que tienen en cuenta estas cuestiones y pueden colaborar en una instrucción más eficaz en óptica geométrica.

Lo que sigue no constituye una propuesta integral para el tratamiento experimental de la formación de imágenes en óptica geométrica. Tal propuesta debiera incluir diversas cuestiones de importancia e interés que ni siquiera serán mencionadas en este trabajo. Por el contrario, en adelante nos limitamos a presentar las características generales de un programa de activi-

dades teórico-experimentales que puede favorecer la clarificación del significado físico de las nociones de "objeto real", "objeto virtual", "imagen real" e "imagen virtual". Dicho programa es concebido como *parte de una estrategia global de aprendizaje orientado, constructivo, significativo y funcional, con actividades adecuadamente contextualizadas y realizadas en un ambiente de trabajo colectivo, reflexivo, participativo, riguroso* (Salinas 1994; Salinas et al. 1995 a y b).

### 3.- ACTIVIDADES EXPERIMENTALES CON LAS QUE SE PUEDEN CLARIFICAR LAS NOCIONES DE OBJETO E IMAGEN REAL Y VIRTUAL EN ÓPTICA GEOMÉTRICA.

La determinación experimental de la distancia focal de lentes convergentes y divergentes forma parte de las actividades comúnmente abarcadas por las prácticas de laboratorio sobre lentes.

Cuando se pide que diseñen sistemas experimentales sencillos que puedan ser utilizados para la determinación de la distancia focal de una lente convergente, los estudiantes suelen proponer la utilización de un banco óptico y la medición de las distancias del objeto y de la imagen. Pero, ¿cómo saber dónde está localizada la imagen? En general se opta por mover una

pantalla a lo largo del eje óptico del sistema hasta que la imagen formada sobre ella aparezca lo más definida posible.

Se obtiene así, sin mayores dificultades, una tabla de valores para las distancias conjugadas  $o$  e  $i$ . ¿Verificarán esos valores las relaciones cuantitativas previstas por el modelo teórico? En otras palabras, ¿será legítimo aplicar la ecuación de Gauss-Descartes a la lente particular con la que se está trabajando? La comprensión de que las leyes de la Física son hipótesis, vale decir, conjeturas cuya validez debe ser controlada ante casos reales concretos, confiere a las prácticas de laboratorio un carácter "investigativo", aumenta el interés de los resultados obtenidos y abre camino para interesantes reflexiones y actividades próximas a una metodología científica en el laboratorio (Salinas 1990 y 1994).

Pero centremos la discusión en los aspectos que interesan en este trabajo: ¿Es real o virtual la imagen que observamos sobre la pantalla? Al pedir respuesta a los estudiantes, la mayoría afirma que la imagen es real. A la hora de justificar, el argumento más utilizado podría sintetizarse en uno que reproducimos textualmente: "La imagen es real porque realmente está allí, sobre la pantalla, como estamos viendo; una imagen

virtual, en cambio, no puede recogerse sobre una pantalla".

¿Y si retiráramos la pantalla? Esta pregunta confunde a los estudiantes. Para algunos, la imagen desaparece. Para otros, se transforma en imagen virtual. Para todos, la cuestión suele plantear un auténtico problema. El debate colectivo orientado por el docente ayuda a identificar una pregunta que precisa más el aspecto que se está discutiendo: ¿La pantalla es un elemento activo o pasivo en la formación de una imagen real?

Para comenzar a aclarar las confusiones es necesario distinguir entre *formación de la imagen* y *percepción visual de la imagen*. Debido a las anfractuosidades de la superficie de la pantalla, ésta refleja de manera difusa la radiación luminosa que incide sobre ella, con lo que posibilita que lleguen rayos luminosos (procedentes de la imagen) al ojo de observadores ubicados a los lados del banco óptico. Sin pantalla, la imagen podrá observarse colocando el ojo en regiones próximas al eje óptico del sistema, atrás de la posición que ocupaba la pantalla, y mirando hacia la lámpara incandescente a través del sistema óptico (Goldberg y McDermott 1987; Salinas y Sandoval 1997).

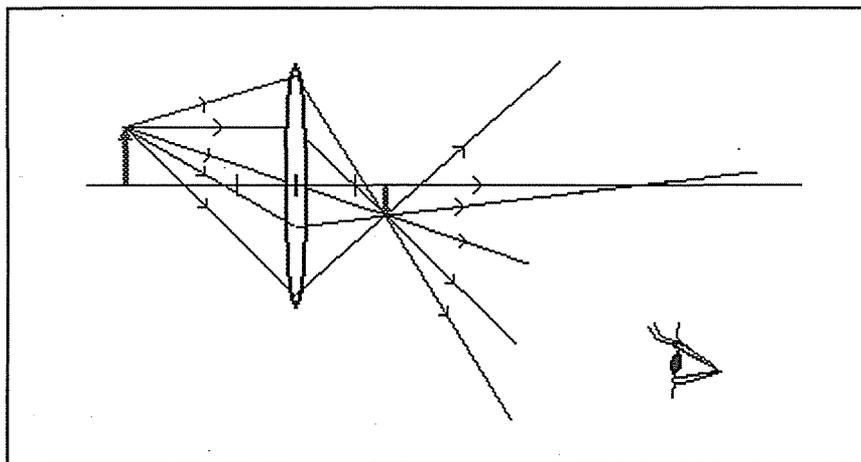


Fig. 7: Observación directa de una imagen real.

Será necesario dar a los estudiantes el tiempo requerido para manipular el sistema experimental, observar la imagen bajo distintas condiciones, intercambiar opiniones e interpretaciones entre ellos y con el docente, etc., para favorecer una adecuada comprensión y una verdadera aceptación de estas ideas. Será así posible llegar a una definición con significado y con sentido del concepto de "imagen real": los rayos

luminosos convergen en las imágenes reales y divergen más allá de ellas, como si procedieran de un objeto luminoso real. La energía luminosa verdaderamente pasa por las imágenes reales, ésa es la razón por la cual pueden verse sobre una pantalla. Pero la pantalla no es necesaria para la formación de una imagen real, sólo facilita su percepción visual a observadores ubicados en distintas posiciones. Sin pantalla, la

imagen también podrá verse directamente, ubicando el ojo en una posición a la que lleguen los rayos que divergen desde la imagen real.

A esta altura es interesante pedir a los estudiantes que observen sin *utilizar pantallas* las imágenes que forma una dada lente convergente cuando un objeto se ubica a una distancia  $o$  respectivamente menor que  $f$ , entre  $f$  y  $2f$ , mayor que  $2f$ . Todos miran, e informan que la imagen cambia, desde una derecha y mayor, hasta otra invertida y menor, pasando por una invertida y mayor. *¿Son reales todas esas imágenes? ¿Cómo saberlo?*

Algunos estudiantes suelen recurrir a los diagramas de rayos y muestran que la imagen derecha es virtual, mientras las invertidas son reales. Otros interponen hojas de papel entre la lente y el ojo del observador y logran ver sobre ellas las imágenes invertidas. Pero en ningún caso, para ninguna posición de la pantalla,

logran ver la imagen derecha sobre la pantalla, y le atribuyen carácter imaginario, "virtual", pues no hay una región del espacio ocupada por una imagen que concentre radiación luminosa y la envíe hacia el observador.

*Pero, ¿por qué el ojo no distingue entre estos dos casos, y atribuye igual "realidad" a todas las imágenes que percibe?*

Para comprender la situación es indispensable recurrir a un modelo elemental de visión (Ronen y Eylon 1993; Salinas y Sandoval 1994). Cuando al ojo llega un haz divergente de rayos, el observador interpreta que ellos provienen de una fuente ubicada en el punto desde donde parecen originarse y no distingue como diferentes las imágenes percibidas, por ejemplo, en las dos situaciones mostradas en la Fig. 8. En las imágenes virtuales la luz se comporta como si saliera de la imagen del objeto aún cuando, en realidad, no pasa por allí.

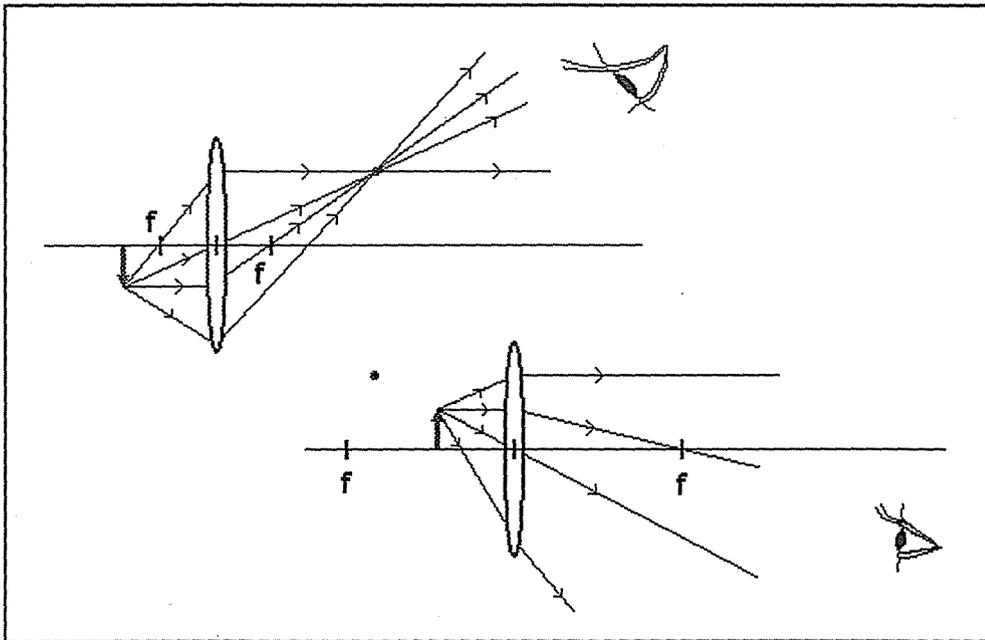


Fig. 8: El observador percibe dos imágenes idénticas.

La distinción entre "imagen real" e "imagen virtual" proviene, pues, de la óptica de las imágenes (es decir, del mecanismo físico responsable del haz divergente de rayos que emerge del sistema óptico), y no del mecanismo de su percepción visual, que es el mismo en ambos casos.

La incorporación de análisis de este tipo en el desarrollo de una práctica de determinación experimental de la distancia focal de una lente

convergente favorece un aprendizaje más comprensivo de las nociones de imagen real y virtual.

La determinación experimental de la distancia focal de una lente divergente, a su vez, brinda la oportunidad de desarrollar actividades para clarificar las nociones de objeto real y virtual.

*¿Qué sistema experimental podría armarse*

para medir la distancia focal de una lente divergente? La situación es bastante más compleja que para las lentes convergentes.

virtual, ¿se podrá obtener una imagen real a partir de un objeto virtual? ¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles? ¿qué es un objeto real? ¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles? ¿qué es un objeto real? ¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles?

¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles? ¿qué es un objeto real? ¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles?

¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles? ¿qué es un objeto real? ¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles?

¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles? ¿qué es un objeto real? ¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles?

¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles? ¿qué es un objeto real? ¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles?

¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles? ¿qué es un objeto real? ¿a qué llamamos "objeto" en estos intercambios de roles?

# Revista de Enseñanza de la Física

## TALÓN DE SUSCRIPCIÓN

Nombre/Institución .....

Dirección .....

Código Postal ..... Ciudad .....

Provincia..... País .....

Suscripción Año.....

**SUSCRIPCIÓN INSTITUCIONAL**

Argentina \$30.- Otros Países U\$S 30.-

**SUSCRIPCIÓN INDIVIDUAL**

Argentina \$15.- Otros Países U\$S 20.-

**Suscripción válida por un año (dos números).**

En Argentina enviar giro postal o bancario.

Otros países cheque u orden de pago.

En ambos casos a nombre de **Víctor Hugo Hamity**.

**REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA**

Facultad de Matemática, Astronomía y Física

Universidad Nacional de Córdoba - Ciudad Universitaria

5000 Córdoba, Argentina.

Fax (+) 54-351-433 4054.

... el eje... como objeto real para  $L_2$ ... sea menor que la distancia focal de  $L_2$ , la imagen final del sistema será virtual e invertida. En efecto, al realizar la experiencia no se la puede recoger sobre una pantalla pero se la observa, con las características predichas, mirando hacia

Como conclusión general, en el debate con los estudiantes puede establecerse colectivamente que en un sistema óptico que contiene más de una superficie refringente (o reflectante), la imagen formada por la primera superficie

imagen también podrá verse directamente, ubicando el ojo en una posición a la que lleguen los rayos que divergen desde la imagen real.

A esta altura es interesante pedir a los estudiantes que observen sin *utilizar pantallas* las imágenes que forma una dada lente convergente cuando un objeto se ubica a una distancia  $o$  respectivamente menor que  $f$ , entre  $f$  y  $2f$ , mayor que  $2f$ . Todos miran, e informan que la imagen cambia, desde una derecha y mayor, hasta otra invertida y menor, pasando por una invertida y mayor. *¿Son reales todas esas imágenes? ¿Cómo saberlo?*

Algunos estudiantes suelen recurrir a los diagramas de rayos y muestran que la imagen derecha es virtual, mientras las invertidas son reales. Otros interponen hojas de papel entre la lente y el ojo del observador y logran ver sobre ellas las imágenes invertidas. Pero en ningún caso, para ninguna posición de la pantalla,

logran ver la imagen derecha sobre la pantalla, y le atribuyen carácter imaginario, "virtual", pues no hay una región del espacio ocupada por una imagen que concentre radiación luminosa y la envíe hacia el observador.

*Pero, ¿por qué el ojo no distingue entre estos dos casos, y atribuye igual "realidad" a todas las imágenes que percibe?*

Para comprender la situación es indispensable recurrir a un modelo elemental de visión (Ronen y Eylon 1993; Salinas y Sandoval 1994). Cuando al ojo llega un haz divergente de rayos, el observador interpreta que ellos provienen de una fuente ubicada en el punto desde donde parecen originarse y no distingue como diferentes las imágenes percibidas, por ejemplo, en las dos situaciones mostradas en la Fig. 8. En las imágenes virtuales la luz se comporta como si saliera de la imagen del objeto aún cuando, en realidad, no pasa por allí.

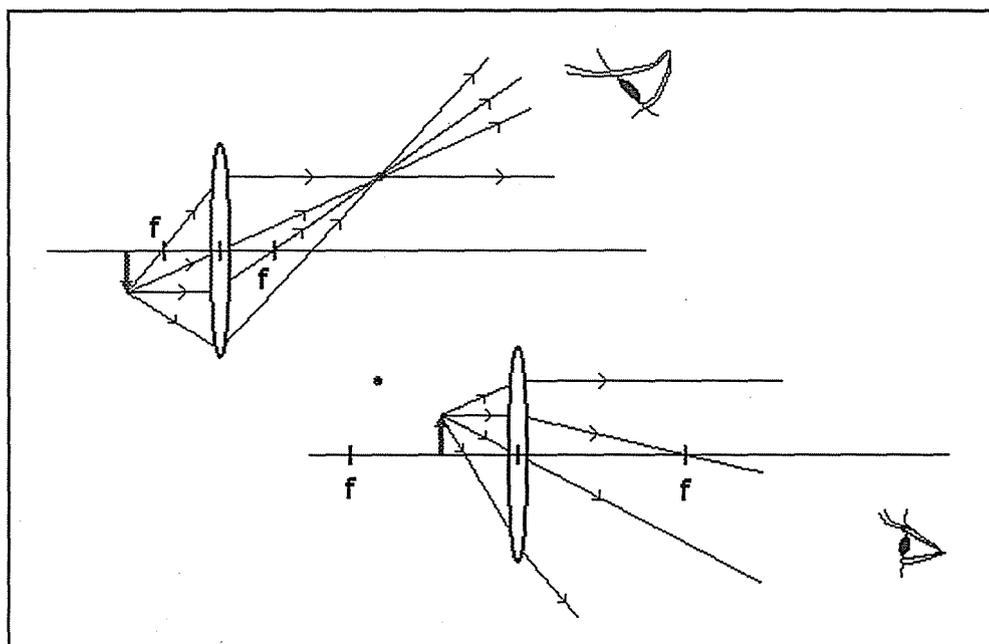


Fig. 8: El observador percibe dos imágenes idénticas.

La distinción entre "imagen real" e "imagen virtual" proviene, pues, de la óptica de las imágenes (es decir, del mecanismo físico responsable del haz divergente de rayos que emerge del sistema óptico), y no del mecanismo de su percepción visual, que es el mismo en ambos casos.

La incorporación de análisis de este tipo en el desarrollo de una práctica de determinación experimental de la distancia focal de una lente

convergente favorece un aprendizaje más comprensivo de las nociones de imagen real y virtual.

La determinación experimental de la distancia focal de una lente divergente, a su vez, brinda la oportunidad de desarrollar actividades para clarificar las nociones de objeto real y virtual.

*¿Qué sistema experimental podría armarse*

para medir la distancia focal de una lente divergente? La situación es bastante más compleja que para las lentes convergentes, porque las lentes divergentes sólo forman imágenes virtuales de un objeto real. Es decir que la luz no proviene de la imagen misma, y por tanto no puede utilizarse una pantalla para ubicar su posición en el espacio.

Los estudiantes pueden montar sobre el banco óptico una lámpara incandescente y una lente divergente, y mirar hacia el objeto a lo largo del eje óptico, como hacían cuando observaban imágenes sin pantalla con la lente convergente. La imagen percibida está nuevamente de acuerdo con lo que predicen los diagramas de rayos. Los estudiantes concluyen que la lente proporciona una imagen virtual derecha y de menor tamaño que el objeto, sea cual fuere la distancia a la que se ubique el objeto sobre el banco óptico.

¿Se podrá modificar el sistema experimental de modo que la lente divergente proporcione una imagen real, que pueda recogerse sobre una pantalla? Si de un objeto real se obtiene una imagen

virtual, ¿se podrá obtener una imagen real a partir de un objeto virtual? Pero, ¿qué es un objeto virtual? Y antes que eso, ¿a qué llamamos "objeto" en óptica?

El interrogante ¿a qué llamamos "objeto" en óptica? origina a veces agitados intercambios de opiniones. En el debate, los estudiantes suelen montar sistemas con más de una lente para observar su comportamiento y argumentar ante opiniones encontradas. En la Fig. 9 reproducimos el experimento ideado por un docente para mostrar a sus alumnos que la lente  $L_2$  presentaba comportamientos similares cuando, sucesivamente:

- enfrentaba  $L_2$  a la imagen formada por la lente  $L_1$  sobre una pantalla  $P_1$  traslúcida
- retiraba la pantalla  $P_1$
- colocaba el filamento incandescente invertido en la posición que ocupaba la pantalla  $P_1$ .

Si la distancia entre  $L_2$  y  $P_1$  era mayor que la distancia focal de  $L_2$ , en los tres casos se obtenía una imagen final real y derecha, que se observaba sobre otra pantalla  $P_2$ .

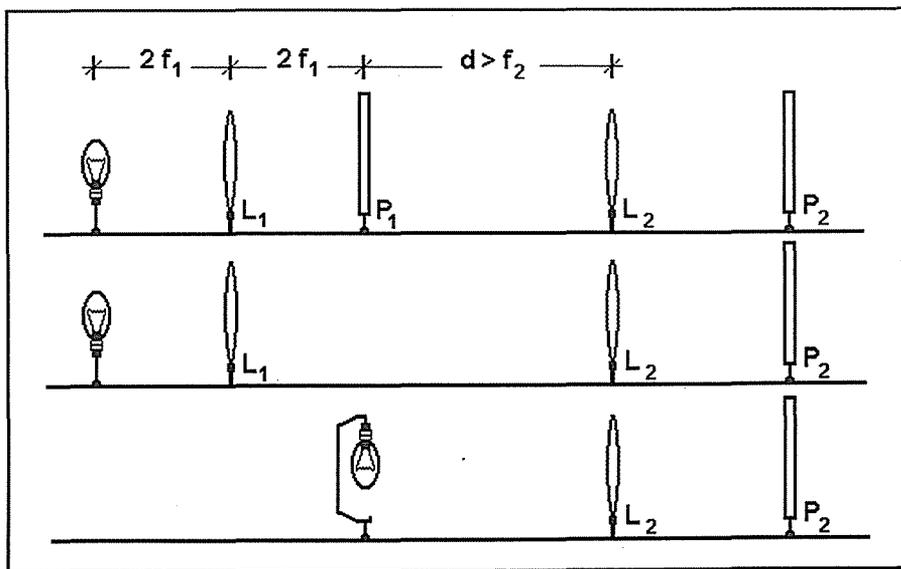


Fig. 9: La imagen real de  $L_1$  actúa como objeto real para  $L_2$ .

Al plantear a los estudiantes la consideración de un sistema experimental como el recién descrito, la mayoría predice, correctamente, que cuando la distancia entre  $L_2$  y la pantalla  $P_1$  sea menor que la distancia focal de  $L_2$ , la imagen final del sistema será virtual e invertida. En efecto, al realizar la experiencia no se la puede recoger sobre una pantalla pero se la observa, con las características predichas, mirando hacia

la lámpara a través del sistema a lo largo del eje óptico. En síntesis, la imagen real de  $L_1$  actúa como objeto real para  $L_2$ .

Como conclusión general, en el debate con los estudiantes puede establecerse colectivamente que en un sistema óptico que contiene más de una superficie refringente (o reflectante), la imagen formada por la primera superficie

sirve de objeto para la segunda, y así sucesivamente. La distinción entre "objeto" e "imagen" en óptica, entonces, no es ontológica sino operativa, funcional. Una vez que se ha dedicado el tiempo necesario para clarificar este punto, se puede preguntar a los estudiantes: *¿qué ocurrirá si la segunda superficie se ubica antes de la posición donde se hubiera formado la imagen de la primera?*

Los estudiantes suelen recurrir a sistemas de dos lentes convergentes, posiblemente porque han venido trabajando con ellas. Son pocos los que intentan resolver el problema con diagramas de rayos y menos aún los que realizan un diagrama correcto; la mayoría quiere recurrir a la experiencia "para ver qué ocurre", porque en general no pueden formular predicciones justificadas. Es que ahora la imagen real que actuaba como objeto real no llega a formarse, debido a la refracción producida por la segunda lente.

El docente puede orientar el debate: ¿qué tipo de haz incidía sobre la segunda lente en el caso de la Fig. 9? ¿Y ahora? Los estudiantes advierten que en el primer caso se trataba de un haz *divergente* de rayos, mientras ahora la lente recibe rayos *convergentes*. Sabemos que el

primer caso corresponde a un objeto real, ubicado en el punto desde el que divergen los rayos. Pues bien, ¡el segundo corresponde a un objeto virtual, ubicado imaginariamente en el punto hacia el que convergen los rayos!

Los rayos que inciden sobre una superficie son divergentes cuando provienen de un objeto real; cuando los rayos incidentes son convergentes, se los atribuye a un objeto imaginario que recibe el nombre de objeto virtual.

El docente debe insistir: los objetos virtuales no emiten rayos hacia la superficie óptica, los diagramas deben realizarse con los rayos que convergen hacia la posición del objeto virtual. Y puede pedir a los estudiantes que arriesguen hipótesis en respuesta a la pregunta que había sido formulada: *¿qué imagen final se obtendrá si la segunda lente convergente se ubica antes de la posición donde se hubiera formado la imagen de la primera?*

Los diagramas de rayos suelen seguir planteando dificultades a los estudiantes. Colectivamente, orientados por el docente, los alumnos elaboran diagramas de rayos principales como el de la Fig. 10.

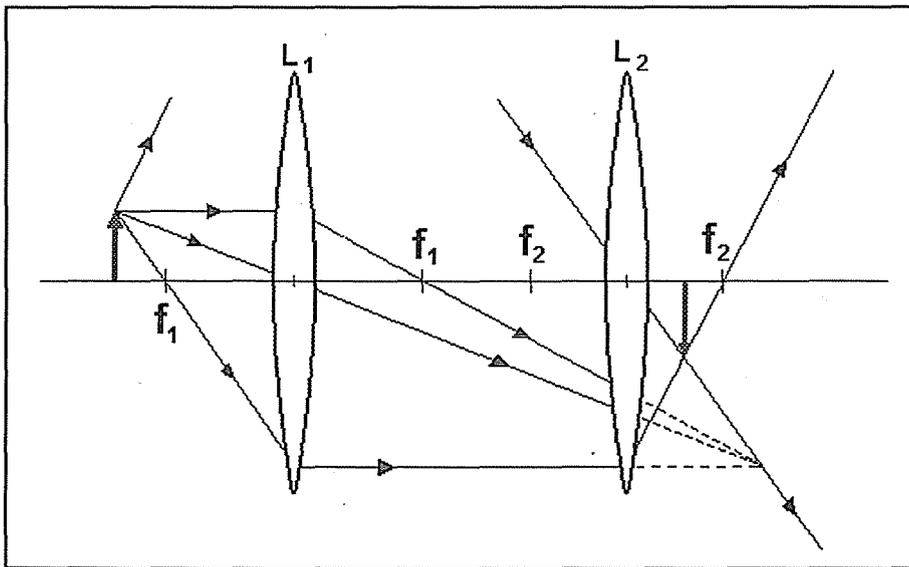


Fig. 10: Construcción por rayos principales de la imagen final real del objeto virtual.

Y la predicción se verifica: al armar el sistema, se obtiene una imagen final real e invertida.

Se ha avanzado así en la clarificación del significado de los términos "objeto real" y "objeto virtual". Recordemos que lo hicimos a partir de

proponer a los estudiantes que idearan un sistema experimental en el que una lente divergente proporcione una imagen real, que pueda recogerse sobre una pantalla. Se había planteado entonces una pregunta, para la que ahora se puede intentar elaborar colectivamente una respuesta: Si de un objeto real se obtiene

una imagen virtual con una lente divergente, ¿se podrá, por simetría, obtener con ese tipo de lente una imagen real a partir de un objeto virtual?

Los estudiantes se enfrentan a un auténtico problema, pues en general ninguno conoce una solución. En un proceso que incorpora experiencias piloto, diagramas de rayos, debates e interacción de los estudiantes entre sí, con los docentes, los apuntes de clases y los textos, se

van delineando las características generales de una posible respuesta.

Un sistema útil para la determinación de la distancia focal de una lente divergente corresponde a la situación de la Fig. 11. En este caso, la imagen real de una lente convergente (LC) actúa como objeto virtual de una lente divergente (LD) que se interpone entre la lente convergente y la pantalla donde se recogía su imagen.

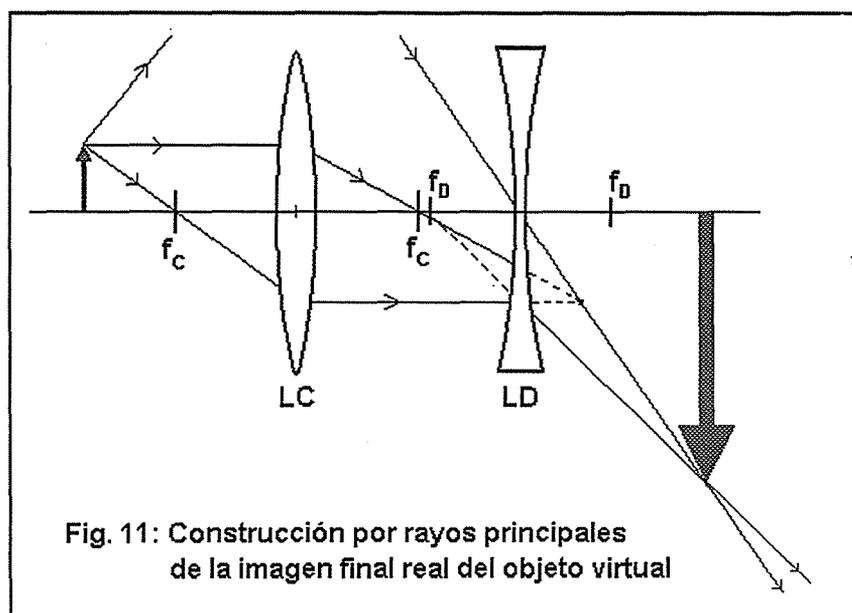


Fig. 11: Construcción por rayos principales de la imagen final real del objeto virtual.

Con un sistema experimental como el esquematizado en la Fig. 11, la determinación de los valores acotados de las distancias  $o_{LD}$ ,  $i_{LD}$  permite calcular  $f_{LD}$  utilizando la relación:

$$1 / f_{LD} = 1 / i_{LD} - 1 / o_{LD}$$

El cálculo de los errores experimentales se hace de acuerdo con procedimientos estandarizados (ver, por ejemplo, Cudmani 1984).

**Ejemplo 1.** En una experiencia que reproducía la situación de la Fig. 11 se obtuvieron los siguientes valores:

$$o_{LD} = (8,0 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$i_{LD} = (17,0 \pm 0,3) \text{ cm}$$

y se calculó para  $f_{LD}$  el valor:

$$f_{LD} = o_{LD} \cdot i_{LD} / (o_{LD} - i_{LD}) = (-15 \pm 1) \text{ cm}$$

Los estudiantes deben advertir que la distancia  $o_{LD}$  debe ser menor que  $f_{LD}$  para que la imagen final sea real. Caso contrario es virtual, como se ve en la Fig. 12.

En el debate surgen otras propuestas que muestran que el problema de determinar la distancia focal de una lente divergente admite más de una solución, que no necesariamente debe recurrirse a la formación de una imagen real por la lente divergente a partir de un objeto virtual. Un ejemplo corresponde a la situación de la Fig. 13. En ella, la lente divergente (LD) se enfrenta al filamento incandescente y forma una imagen virtual. Esta imagen virtual actúa como objeto real de una lente convergente (LC) auxiliar, de distancia focal conocida, que proporciona una imagen final real e invertida del filamento de la lámpara incandescente.

En este sistema no se enfrenta la lente divergente a un objeto virtual. La imagen final, real, es formada por la lente convergente a partir de

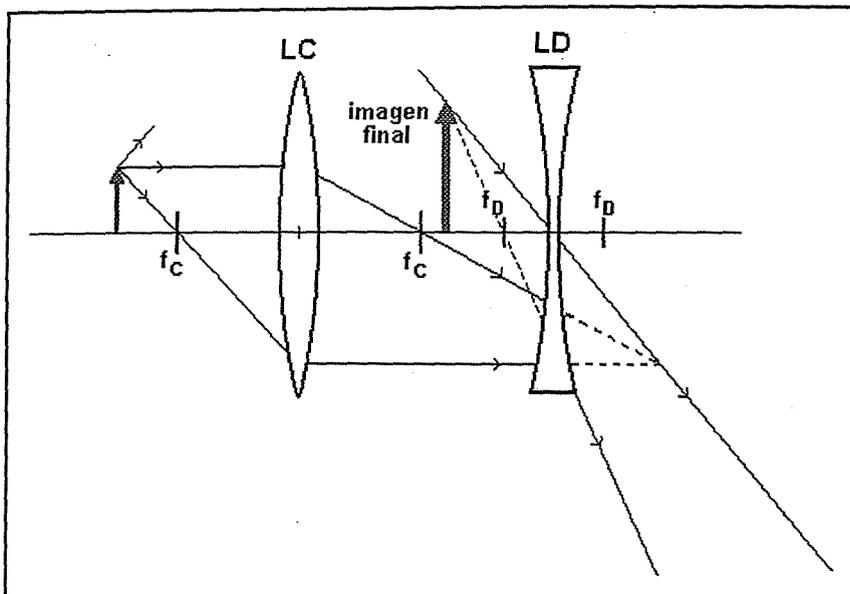


Fig. 12: Construcción por rayos principales de la imagen final virtual del objeto virtual.

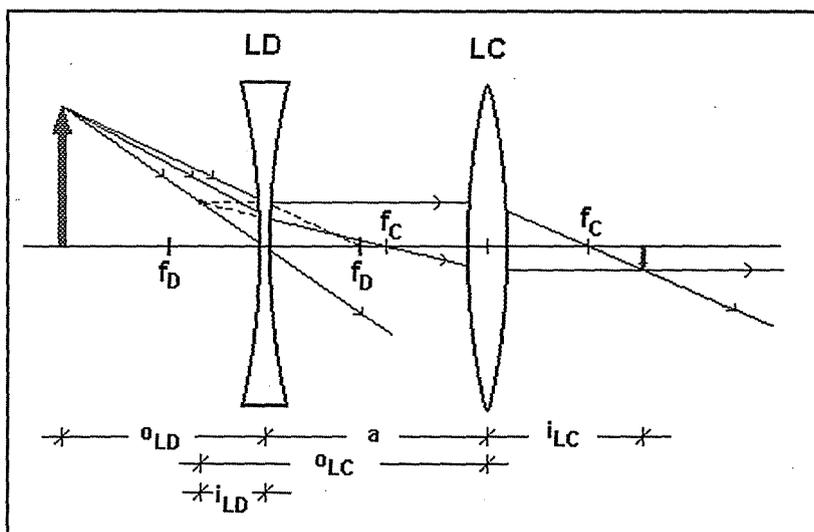


Fig. 13: Construcción por rayos principales. Imagen final real de una imagen virtual intermedia que actúa como objeto real.

una imagen virtual que actúa como objeto real ubicado a una distancia  $o > f$ . La utilización de caminos alternativos, además de enriquecer la comprensión sobre el comportamiento físico de los sistemas en juego, permite controlar el acuerdo entre los resultados obtenidos y reflexionar sobre criterios de coherencia utilizados en una metodología científica (Salinas 1994).

A partir de la determinación experimental de los valores acotados de las distancias  $o_{LD}$ ,  $a$ ,  $i_{LC}$  para las que se obtiene imagen final nítida sobre

la pantalla (ver Fig. 13), es posible calcular  $f_{LD}$  utilizando las relaciones:

$$1 / o_{LC} = 1 / f_{LC} - 1 / i_{LC}$$

$$i_{LD} = o_{LC} - a$$

$$1 / f_{LD} = 1 / o_{LD} - 1 / i_{LD}$$

Por supuesto, la estimación de los errores experimentales es siempre un aspecto importante a tener en cuenta (Cudmani 1984).

**Ejemplo 2.** En una experiencia que reproducía la situación de la Fig. 13, realizada con las mismas lentes intervinientes en el Ejemplo 1, se obtuvieron los siguientes valores:

$$\begin{aligned} f_{LC} &= (15,0 \pm 0,1) \text{ cm} \\ a &= (10,0 \pm 0,1) \text{ cm} \\ o_{LD} &= (15,0 \pm 0,1) \text{ cm} \\ i_{LC} &= (97,3 \pm 0,3) \text{ cm} \end{aligned}$$

Entonces,

$$o_{LC} = i_{LC} \cdot f_{LC} / (i_{LC} - f_{LC}) = (17,7 \pm 0,3) \text{ cm}$$

$$i_{LD} = o_{LC} - a = (7,7 \pm 0,4) \text{ cm}$$

Y se calculó finalmente para  $f_{LD}$  el valor

$$f_{LD} = i_{LD} \cdot o_{LD} / (i_{LD} - o_{LD}) = (-16 \pm 2) \text{ cm}$$

Los resultados obtenidos para la distancia focal de la lente divergente con ambos sistemas (Ejemplos 1 y 2) son iguales dentro del error.

**En síntesis:** con un programa de actividades como el presentado, se favorece que los alumnos comprendan que una lente convergente puede dar imágenes reales o virtuales de un objeto real (reales para  $o > f$ , virtuales para  $o < f$ ), mientras una lente divergente sólo da imágenes virtuales de tal tipo de objeto. Experiencias como las descritas pueden ayudar a una mejor comprensión de ese saber, que a veces se limita a un nivel meramente declarativo, memorístico.

Además, a la luz de lo visto y discutido, los estudiantes pueden elaborar una síntesis reflexiva, fundamentada físicamente, de lo que ocurre cuando el objeto es virtual. En este caso, una lente divergente puede dar imágenes reales o virtuales (reales para  $l < f$ , virtuales para  $l > f$ ), mientras una lente convergente sólo da imágenes reales de tal tipo de objeto.

#### 4.- CONCLUSIONES.

La práctica docente en ciclos básicos universitarios y la realización de experiencias educativas simples diseñadas para sistematizar comportamientos observados en los alumnos, nos han permitido advertir que las "imágenes virtuales" (y, en mayor medida, los "objetos virtuales") presentan especiales dificultades a muchos estudiantes, tanto en la realización de diagramas de lápiz y papel, como en el paso desde tales diagramas hacia la situación experimental y viceversa.

Más aún: en muchos alumnos tampoco hay una adecuada comprensión de la noción de "imagen real", y en general hay una acentuada dificultad para definir a qué se llama "objeto" e "imagen" en óptica.

En el trabajo hemos presentado las características generales de algunas actividades experimentales que (*si se plantean como problemas -y no discursivamente- ante los estudiantes, y se resuelven colectivamente a través de un proceso reflexivo, participativo, riguroso*) pueden favorecer la clarificación del significado físico de las nociones de "objeto real", "objeto virtual", "imagen real" e "imagen virtual".

En particular, las actividades experimentales que proponemos realizar con los estudiantes enfatizan la discusión colectiva alrededor de las siguientes cuestiones:

- la distinción entre "formación de una imagen" y "percepción de una imagen", a fin de salir al paso de múltiples incomprendiones derivadas de la ausencia de una clara diferenciación entre ambas nociones (como, por ejemplo, el papel activo que se asigna incorrectamente a la pantalla en la formación de una imagen real);

- relacionado con lo recién dicho, el entendimiento de que la distinción entre "imagen real" e "imagen virtual" proviene de la óptica de las imágenes (es decir, del mecanismo físico responsable del haz divergente de rayos que emerge del sistema óptico) y no del mecanismo de su percepción visual, que es idéntico para ambos tipos de imágenes;

- en consonancia con lo expresado, la incorporación sistemática, habitual, del ojo del observador como parte del sistema óptico interviniente en el proceso complejo formación-percepción de la imagen, a fin de favorecer una adecuada comprensión de los comportamientos ópticos observados;

- la fundamentación física de reglas mnemotécnicas usadas habitualmente en óptica (por ejemplo, las tablas de signos) a fin de que se esclarezca su carácter convencional (y por tanto arbitrario) y adquieran significación, utilidad y funcionalidad ante los estudiantes;

- la comprensión de que el carácter de "objeto" o "imagen" de una entidad óptica no es ontológica (no está "en el ser"

de la entidad en cuestión) sino operativa: la imagen formada por una superficie refringente o reflectante puede actuar como objeto para otra superficie;

- las definiciones cualitativas, conceptuales, en paralelo con las definiciones cuantitativas y operacionales, a fin de favorecer aprendizajes con significado y con sentido. En particular, la comprensión de que una entidad óptica será caracterizada, respectivamente, como:

- "objeto real", cuando emita rayos divergentes que incidan sobre la superficie bajo estudio,

- "imagen real", cuando a ella lleguen rayos convergentes provenientes de la superficie bajo estudio,

- "imagen virtual", cuando prolongando los rayos divergentes provenientes de la superficie bajo estudio, éstos parezcan venir de dicha imagen,

- "objeto virtual", cuando prolongando los rayos convergentes que incidan sobre la superficie óptica bajo estudio, éstos parezcan llegar a dicho objeto.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- CUDMANI L.C. de, 1984, Cálculo de errores experimentales (Ed. CUECET, UNT).

- GALILI I., 1996, Students' conceptual change in geometrical optics, International Journal of Science Education, 18(7), 847-868.

- GALILI I., BENDALL S., GOLDBERG F., 1993, The effect of prior knowledge and instruction on understanding image formation, Journal of Research in Science Teaching, 30(3), 271-301.

- GOLDBERG F., McDERMOTT L., 1986, Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror, The Physics Teacher, November 1986, 472-480.

- GOLDBERG F., McDERMOTT L., 1987, An investigation on student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror, American Journal of Physics, 55(2), 108-119.

- HALLIDAY D., RESNICK R., 1967, Física para estudiantes de ciencias e ingeniería - Parte II (Compañía Editorial Continental, México).

- ORTEGA GIRÓN M.R., 1978, Prácticas de Laboratorio de Física General (Compañía Editorial Continental, España).

- PESA M., CUDMANI L.C. de, SALINAS J., 1993, Transferencia de resultados de la investigación educativa al aprendizaje de la óptica, Revista Brasileira de Ensino de Física, 15 (1 a 4), 42-51.

- PESA M., 1997, Tesis Doctoral, Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

- RONEN M., EYLON B., 1993, To see or not to see: the eye in geometrical optics - when and how?, Physics Education, 28, 52-59.

- SALINAS J., 1990, Las experiencias de búsqueda de relaciones entre magnitudes como herramientas para incorporar al aula aspectos de la metodología de la investigación científica, Revista de Ensino de Física, 12, 59-77.

- SALINAS J., 1994, Tesis Doctoral ("Las prácticas de Física básica en laboratorios universitarios"), Facultad de Ciencias Físicas, Universidad de Valencia, España.

- SALINAS J., GIL PÉREZ D., CUDMANI L.C. de, 1995a, Presentación de una propuesta superadora para las prácticas de Física básica en laboratorios universitarios - Primera parte, Memorias de REF IX (Salta, Septiembre de 1995), 363-370.

- SALINAS J., GIL PÉREZ D., CUDMANI L.C. de, 1995b, Presentación de una propuesta superadora para las prácticas de Física básica en laboratorios universitarios - Segunda parte, Memorias de REF IX (Salta, Septiembre de 1995), 371-378.

- SALINAS J., SANDOVAL J., 1994, Filtros de colores y teorías intuitivas sobre color y visión, Revista Española de Física, 8(4), 27-30.

- SALINAS J., SANDOVAL J., 1997, Óptica y visión: hacia un aprendizaje más integrado, Revista Española de Física, 11(1), 38-43.

- SANDOVAL J., SALINAS J., 1995, Inversión y reversión en las imágenes formadas por espejos planos, Revista de Enseñanza de la Física, 8(2), 29-36.

- SEARS F., 1979, Fundamentos de Física - III - Óptica (Ed. Aguilar, Madrid).