

# PROBLEMATICA DE LA ENSEÑANZA

## INVERSION Y REVERSION EN LAS IMAGENES FORMADAS POR ESPEJOS PLANOS

SANDOVAL, J.<sup>(1)</sup> y SALINAS DE SANDOVAL, J.<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Luminotecnia, Luz y Visión; <sup>(2)</sup> Instituto de Física - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología  
Universidad Nacional de Tucumán- Independencia 1800 - 4000 Tucumán

### RESUMEN

*Se consideran las relaciones de simetría entre un objeto y su imagen producida por un espejo plano. Se discuten en particular "la reversión lateral" y "el de mano derecha a izquierda" aparentes en las imágenes. Se enfatiza la importancia de explicitar los sistemas de referencia que intervienen en la representación de las imágenes observadas. Se sugieren experiencias para el aula.*

### ABSTRACT

*Symmetry relations between an object and its image produced by a plane mirror are considered. Particular, apparent "lateral reversion" and "left to right handedness change" in images are discussed. The remarkable importance of reference systems is emphasized. Classroom experiments are suggested.*

### INTRODUCCION

La observación de la imágenes formadas por los espejos planos interviene en nuestras experiencias cotidianas desde la niñez más temprana. Además del conocimiento espontáneo que elaboramos en relación con el comportamiento de los espejos planos a través de nuestras experiencias visuales y de nuestra interacción con otras personas en la vida cotidiana, generalmente el estudio de las leyes de la reflexión de la luz y su aplicación a los espejos planos, forma parte de los programas de física en el nivel secundario y, por supuesto, en las carreras universitarias de orientación científica.

Tanta participación en actividades relacionadas con la formación de imágenes por espejos planos,

no parece conducir a una adecuada comprensión de los comportamientos observados. Por el contrario, estudiantes (y aún profesores) revelan limitaciones muy serias en su entendimiento de algunas cuestiones básicas. En particular, con las que nos ocuparán en este trabajo:

- 1) ¿Un espejo plano revierte de izquierda a derecha?. Si la respuesta es negativa, ¿cómo se explica lo que ocurre con la escritura de un texto sostenido frente a un espejo?. Si la respuesta es afirmativa, ¿por qué el espejo no revierte de arriba a abajo?.
- 2) ¿Por qué, si una persona hace un ademán con su mano izquierda frente a un es-

pejo, la imagen reflejada parece hacerlo con su mano derecha?. ¿Es éste un caso similar a la reversión de izquierda a derecha de que hablábamos recién?

### LA "REVERSION LATERAL" EN LAS IMAGENES PRODUCIDAS POR ESPEJOS PLANOS

Posiblemente una de los mitos más arriesgados en el ámbito de la óptica geométrica es el convencimiento de mucha gente de que los espejos planos revierten derecha por izquierda en sus imágenes.

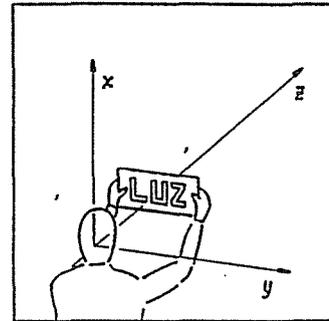
Como experiencia supuestamente corroboradora de esta afirmación, se menciona el hecho, conocido por todos, de que cuando se enfrenta un texto a un espejo, la escritura aparece revertida lateralmente.

Esta es una buena oportunidad para comprender la importancia de los sistemas de referencia al analizar los fenómenos físicos.

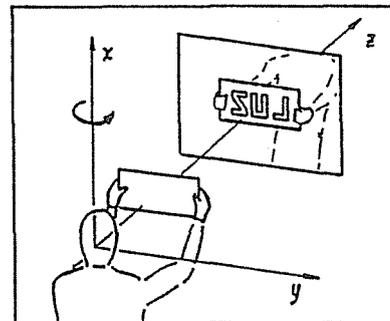
Consideremos las dos situaciones de la figura 1. En la primera, una persona lee la palabra LUZ escrita sobre una hoja de cartulina. En la segunda, la persona enfrenta esa hoja al espejo, y observa la conocida "reversión lateral".

Si consideramos un sistema de referencia centrado en el observador como el que ha sido dibujado en la figura 1, y si definimos como "lado derecho" al semiespacio ubicado hacia el sentido positivo del eje Oy, y como "lado izquierdo" al semiespacio ubicado hacia el sentido negativo del eje Oy, es claro que la letra L está en el lado izquierdo de texto que actúa como objeto en la figura 1a, mientras ocupa el lado

derecho de la imagen del texto en la figura 1b. ¿Podemos entonces concluir que en la imagen hay reversión lateral respecto del objeto?



(a)



(b)

Figura 1: Texto escrito sobre cartulina u otro material opaco, enfrentado a un espejo plano.

Examinemos con más cuidado la situación de la figura 1b. Podemos así advertir que si la persona aproxima la cartulina al espejo, las letras de la palabra LUZ en el objeto y en la imagen tienden a coincidir, pues tienen la misma disposición. En otras palabras, en la figura 1b, la letra L se encuentra hacia la derecha del observador tanto en el objeto como en la imagen. El espejo no ha revertido a la imagen respecto al objeto. Si el espejo revirtiera lateralmente, en la imagen la letra L aparecería en el semiespacio izquierdo y la palabra LUZ se leería correctamente.

Para enfrentar el texto al espejo, el observador ha rotado  $180^\circ$  al objeto alrededor del eje Ox (ver figura 1), con lo que ha desplazado la letra L desde el semiespacio izquierdo hasta el semiespacio derecho del sistema de referencia centrado en el observador. La reversión lateral ha sido realizada por el observador, al rotar el objeto para enfrentarlo al espejo, y no por el espejo al formar la imagen. Es en el texto que enfrenta al espejo, donde la escritura ha sido revertida de izquierda a derecha respecto a un sistema referencial centrado en el observador. La imagen construida por el espejo mantiene la reversión que se ha producido en el texto por efecto de la rotación que le ha impuesto el observador para enfrentarlo al espejo.

Si el observador, para enfrentar el texto al espejo, lo hubiera rotado alrededor del eje  $Oy$ , entonces la imagen mostraría *reversión vertical* respecto de la situación inicial, como muestra la figura 2. Usualmente no es éste el procedimiento que seguimos para observar un texto en un espejo, y por eso lo común es tener reversión lateral. Pero, insistimos, esta reversión es producida por el observador, y no por el espejo.

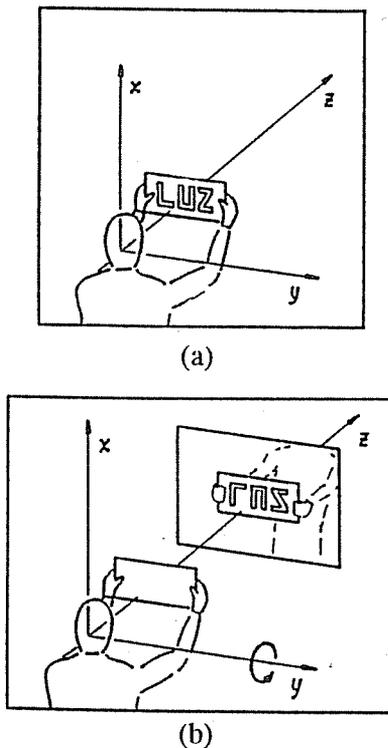


Figura 2: "Reversión vertical" en un espejo plano.

Podemos entonces definir la reversión como el efecto que resulta de rotar un objeto  $180^\circ$  alrededor de un eje (Levi 1968; Hecht y Zajac 1977).

Para controlar si esta explicación ha sido comprendida y aceptada por los estudiantes, podemos preguntarles: "¿Qué imagen creen ustedes que se observaría si las letras de la palabra LUZ se recortaran en la cartulina, de modo que el observador pudiera enfrentar el texto al espejo *sin rotarlo alrededor de los ejes  $Ox$  u  $Oy$* , sino enfrentando a sus ojos, como muestra la figura 3?"

Como el espejo no revierte (ni lateral, ni verticalmente), la imagen mostrará la palabra LUZ correctamente escrita, como puede comprobarse fácilmente realizando la experiencia en el aula. (Nótese que si un segundo observador se

ubicara entre el espejo y la cartulina, y mirara hacia el espejo, podría leer correctamente la palabra LUZ. Pero debería rotar  $180^\circ$  alrededor de un eje vertical para poder mirar hacia la cartulina, en la que encontraría escrita la reversión lateral de la palabra. Otra vez podemos notar que la reversión no habría sido producida por el espejo, sino por este segundo observador).

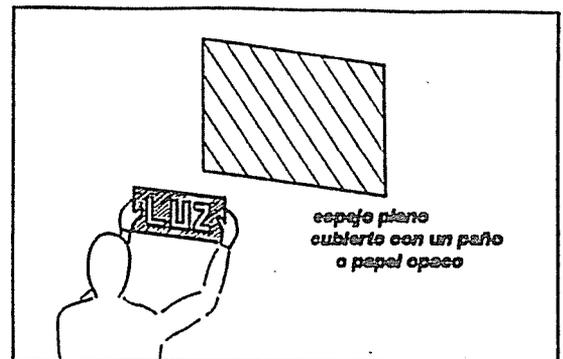


Figura 3: Experiencia propuesta: Predicción de las características de la imagen de un texto que ha sido recortado sobre cartulina y enfrentado a un espejo plano.

Puede ser interesante comparar estos resultados con los que se obtiene al analizar la reversión en las imágenes reales producidas por lentes convergentes, ya que ésta es otra situación comúnmente abordada en la instrucción (e igualmente incomprendida muchas veces). Podemos preguntar a los estudiantes: "¿Presentaría alguna/s reversión/es la imagen que se observaría si en la situación de la figura 3, se reemplazara al espejo plano por una lente convergente (de distancia focal menor que la distancia objeto-lente) y una pantalla?"

Al igual que con la experiencia de la figura 3, los estudiantes pueden predecir el comportamiento, justificar sus predicciones, y controlar luego experimentalmente.

Como las lentes convergentes rotan las imágenes reales  $180^\circ$  alrededor del eje óptico (eje  $Oz$  en la figura 4), la respuesta correcta es que en este caso sí debe observarse una reversión en la imagen del objeto que enfrenta a la lente. Como puede comprobarse fácilmente, en la pantalla aparecerá el texto de la figura 5.

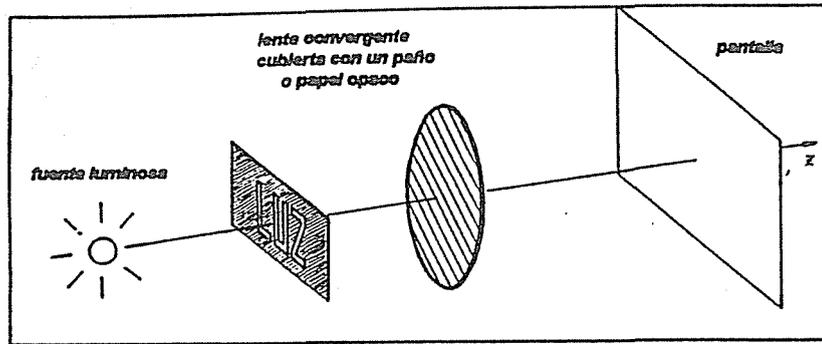


Figura 4: Experiencia propuesta: Predicción de las características de la imagen de un texto que ha sido recortado sobre cartulina y enfrentando a una lente convergente de distancia focal  $<$  distancia objeto-lente

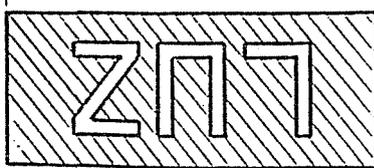


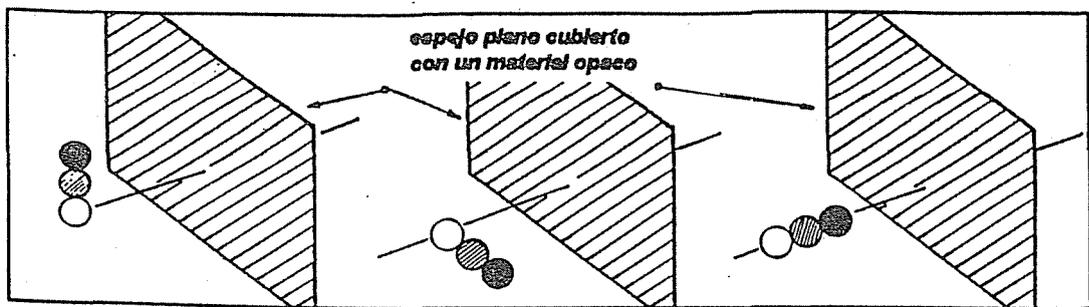
Figura 5: Imagen sobre la pantalla para la situación de la figura 4.

La lente ha producido una imagen revertida lateral y verticalmente respecto al objeto. La cuidadosa construcción colectiva en el aula de los diagramas de rayos correspondientes a ambas situaciones (espejo plano, lente convergente produciendo imagen real), con la activa participación de los estudiantes, permitirá comprobar la adecuación entre los comportamientos reales y las leyes de la óptica geométrica propuestas para estas situaciones.

### LA INVERSION EN LAS IMAGENES PRODUCIDAS POR ESPEJOS PLANOS. EL CAMBIO "DE MANO DERECHA A MANO IZQUIERDA"

De acuerdo con lo expuesto en el punto anterior, los espejos planos no revierten la imagen respecto al objeto. ¿Significaría esto que también es un mito la generalizada convicción de que las imágenes producidas por los espejos planos, "la mano derecha cambia a mano izquierda, y viceversa"?

Al discutir esta cuestión con los estudiantes, podemos comenzar solicitándoles que predigan las características de las imágenes que produciría un espejo plano si frente a él se colocaran tres esferas distinguibles entre sí (es decir, de diferentes colores, tamaños, etc.) en las disposiciones mostradas en la figura 6.



(a)

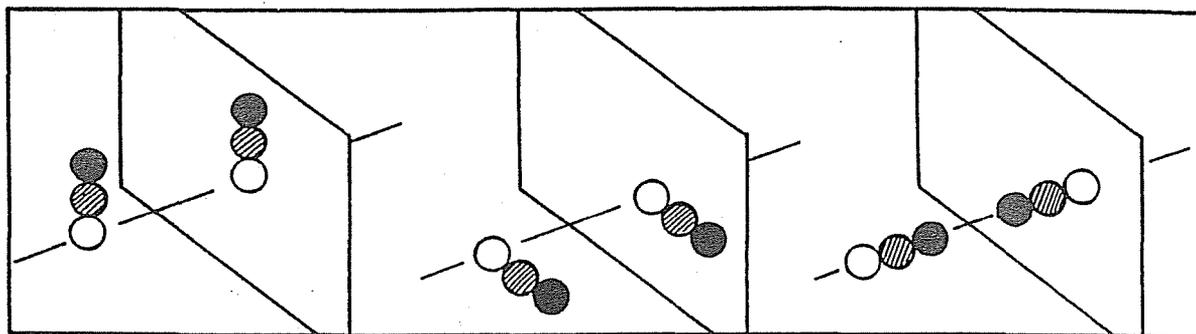
(b)

(c)

Figura 6: Experiencia propuesta: Predicción de las características de tres imágenes producidas por un espejo plano.

Como puede comprobarse fácilmente a posteriori de la formulación de predicciones justificadas por parte de los estudiantes, las imágenes mostrarán

las disposiciones que aparecen en las figuras 7a, 7b y 7c.



(a)

(b)

(c)

Figura 7

Si identificamos a cada una de las disposiciones de las esferas con la dirección de los ejes coordenados  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ , podremos resumir con los estudiantes los resultados en un sólo gráfico (figura 8) y concluir junto a ellos que *las imágenes de los ejes  $Ox$ ,  $Oy$ , conservan la dirección y el sentido originales, mientras la imagen del eje  $Oz$ , conserva la dirección pero cambia el sentido.*

( $Ox$ ,  $Oy$ ,  $-Oz$ ), recibe el nombre de inversión. Un espejo plano invierte la imagen respecto al objeto (Levi 1968; Hecht y Zajac 1977).

Recordemos que en una terna de mano derecha, el sentido del eje  $Oz$  es el sentido en que apunta el dedo pulgar de una mano derecha cuando los otros dedos de la mano se mueven juntos desde la dirección positiva del eje  $Ox$  hacia la dirección positiva del eje  $Oy$  siguiendo el camino más corto (figura 9).

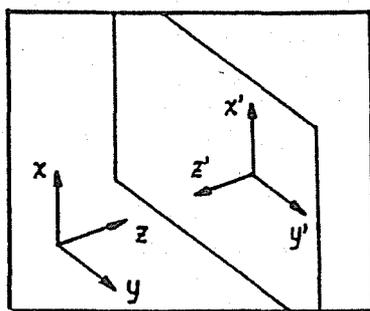


Figura 8

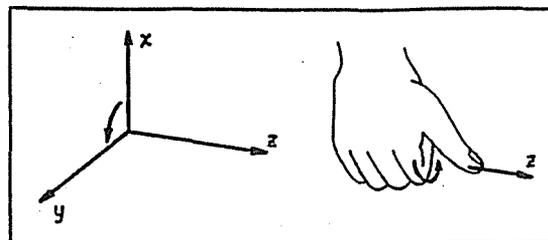


Figura 9: Una terna de mano derecha

En la figura 8, mientras el sistema coordenado objeto es una terna "de mano derecha", el sistema coordenado imagen es una terna "de mano izquierda". Esta transformación, de un sistema coordenado ( $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ ) a otro sistema

El objeto enfrentando al espejo en la figura 10 es una mano derecha. ¿Qué mano corresponde a la imagen?.

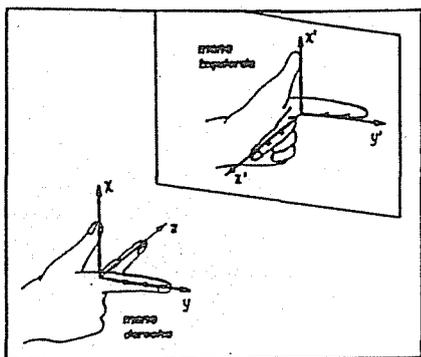


Figura 10: Inversión en la imagen producida por un espejo plano

Usualmente, cuando el dedo mayor de una mano apunta hacia nosotros, con el pulgar dirigido hacia arriba y el índice orientado hacia nuestra derecha, identificamos a esa mano como "una mano izquierda". Eso es lo que estamos viendo en el espejo.

La inversión de  $z$  a  $-z$  que produce un espejo plano sobre sus imágenes, sin revertir lateral ni verticalmente, es la responsable "del cambio de mano" que observamos en sus imágenes.

Para aclarar mejor esta situación en el aula, podemos invitar a uno de nuestros alumnos a que actúe como "objeto" a ser observado por sus compañeros. Si él se coloca en actitud pensativa, por ejemplo, y enfrenta a la clase en una postura como la que aparece en la figura 11,



Figura 11

sus compañeros identificarán inmediatamente

como "derecha" a la mano que toca la frente, porque dicha mano está hacia la izquierda de los observadores, "y por lo tanto a la derecha del joven que los enfrenta". Sin decirlo, los estudiantes comparten la convicción de que la morfología del joven es como la de uno de ellos (vale decir, que todos tienen igualmente definidas las posiciones "arriba", "abajo", "delante", "detrás", "izquierda" y "derecha" respecto a sistemas referénciales "de mano derecha" centrados en cada uno de ellos).

Si pedimos a continuación al mismo joven que dé la espalda a la clase y se coloque delante de un espejo plano sin modificar su actitud, sus compañeros identificarán inmediatamente como "izquierda" a la mano que toca la frente (figura 12).

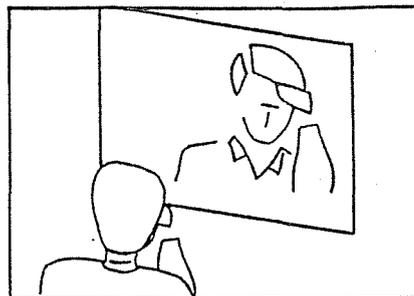


Figura 12: Experiencia propuesta: ¿Con qué mano toca su frente el individuo que aparece en la imagen producida por el espejo plano?

¿Por qué los alumnos identifican como "izquierda" a la mano que toca la frente en la imagen de su compañero?. Por las mismas razones por las que antes identificaban como "derecha" a esa misma mano, en la situación de la figura 11: porque todos ellos aceptan implícitamente, por sus experiencias de todos los días, que cuando dos personas están frente a frente (como ellos con la imagen formada por el espejo), sus lados izquierdo y derecho están revertidos lateralmente.

Los estudiantes no advierten que esa reversión lateral que se produce entre dos personas que se enfrentan entre sí, no se produce entre una persona y su imagen en el espejo, pues el espejo no revierte lateralmente. He ahí el origen del aparente "cambio de mano" en la imagen: las nociones "derecha" e "izquierda" tienen significados diferentes en los sistemas referénciales objeto (que es "de mano derecha") e imagen (que es de "mano izquierda").

Recordemos que en el apartado anterior definimos como "lado derecho" al semiespacio

ubicado hacia el sentido positivo del eje  $Oy$ , y como "lado izquierdo" al semiespacio

hacia el sentido negativo del eje  $Oy$ .

Observemos ahora la figura 13. La esfera más oscura está en el "lado derecho" respecto a un sistema referencial de "mano derecha" centrado en el objeto, ¡y también está en el "lado derecho" respecto a una sistema referencial de "mano izquierda" centrado en la imagen!. Si esa esfera representara a "un brazo derecho" en el sistema  $(Ox, Oy, Oz)$ , la imagen correspondiente sería también "un brazo derecho" en el sistema  $(Ox', Oy', Oz')$ .

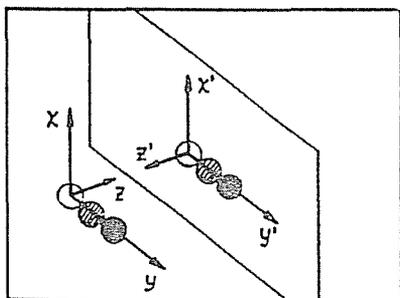


Figura 13: "Lados derechos" en dos ternas, una "de mano derecha" y otra "de mano izquierda"

Las personas estamos habituadas en la vida cotidiana a interpretar nuestras observaciones visuales en un "terna de mano derecha" centrada

en nosotros mismos, e implícitamente tratamos también a las otras personas como "ternas de mano derecha". Tal manera de proceder no nos produce confusión respecto al lado derecho o izquierdo de un individuo cuando tratamos con personas reales, pero sí nos confunde cuando tratamos con las imágenes de esas personas (o de nosotros mismos) producidas por un espejo plano, pues esas imágenes no son "ternas de mano derecha" sino "ternas de mano izquierda".

En el aula podemos completar estas reflexiones proponiendo a los estudiantes una actividad de aplicación de estas ideas. La "mano derecha" puede ser definida de otra manera; por ejemplo, como la mano que se encuentra "del otro lado del corazón" de la persona. En la situación de la figura 11, cuando el estudiante "pensativo" enfrenta a la clase, podemos marcar de algún modo la posición de su corazón sobre su ropa e identificar sin ambigüedades su mano derecha. Luego, con el alumno dando la espalda a la clase y enfrentando a un espejo plano como en la figura 12, podemos preguntar: "de acuerdo con nuestra nueva definición de "mano derecha", ¿con qué mano toca su frente el sujeto que aparece en la imagen formada por el espejo?". Tanto el estudiantes, como su imagen, estarán levantando su mano derecha.

En síntesis: el aparente "cambio de mano" se debe a que el observador maneja implícita y simultáneamente dos sistemas referenciales diferentes (uno correspondiente al sistema objeto  $Ox, Oy, Oz$ , y otro correspondiente al sistema imagen  $Ox, Oy, -Oz$ ), y dos definiciones diferentes de "lado derecho" y "lado izquierdo".

Podemos ahora preguntar a los alumnos si en la imagen real producida por una lente convergente habrá también "cambio de mano".

La respuesta difícilmente será inmediata, pues requiere de una verdadera comprensión del modo en que funcionan las lentes. El análisis cuidadoso de este caso puede realizarse mediante una estrategia docente como la ya esbozada: pedir a los alumnos predicciones con justificación, enfrentarlos luego a situaciones experimentales que permitan controlar la adecuación de esas predicciones, y dirigir un debate colectivo donde se discutan las propuestas y se elabore una respuesta científicamente correcta.

Esto constituirá una buena ocasión para recapitular e insistir sobre aspectos señalados en este trabajo: como la lente convergente revierte las imágenes reales que produce, haciéndolas girar  $180^\circ$  alrededor del eje óptico, pero no cambia su orientación respecto a este eje, resultará que un dedo apuntado hacia la lente producirá una imagen que conservará esa orientación (y que por lo tanto apuntará en sentido opuesto a la lente), como muestra la figura 14.

La imagen real de una mano derecha producida por una lente convergente será entonces una mano derecha rotada alrededor del eje  $Oz$ , y no habrá "cambio de mano" en la imagen.

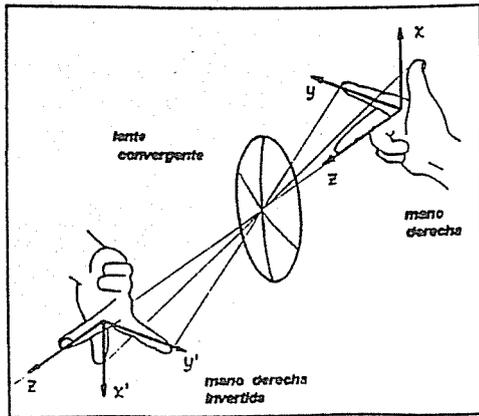


Figura 14: Imagen real de una mano derecha producida por una lente convergente

Estas predicciones podrán ser controladas experimentalmente con facilidad empleando lamparitas de baja potencia (recubiertas con materiales transparentes de diferentes colores) adecuadamente dispuestas.

## CONCLUSIONES

Muchos estudiantes, y también numerosos docentes de física, suelen tener serias dificultades para comprender las relaciones de simetría que se establecen entre un objeto y su imagen producida

## Referencias Bibliográficas

- ELMER W. B., 1980, *The Optical Design of Reflectors* (John Wiley and Sons: U.S.A.)  
 GALILI I., GOLDBERG F., BENDALL S., 1991, Some Reflections on Plane Mirrors and Images, *The Physics Teacher*, 29 (7), pp.471-477.

por un espejo plano.

Estas dificultades no parecen estar originadas tanto en un desconocimiento de las leyes de reflexión de la luz que se estudian en óptica geométrica, cuanto en una seria incompreensión del papel que juega el observador como sistema óptico y como sistema referencial de observación. Esa incompreensión transforma a las leyes de la óptica geométrica en un conjunto de técnicas (de construcción de esquemas geométricos y cálculos de posiciones) sin mayor significado físico ni relación con situaciones reales. Entre otras consecuencias no coherentes con las teorías físicas que se pretende enseñar y aprender, se atribuyen al espejo efectos que no son producidos por él, sino que son consecuencias de acciones desarrolladas por el observador, o de cambios en los sistemas de referencias.

En este artículo hemos discutido en particular dos aspectos (la "reversión lateral" y "el cambio de mano derecha a mano izquierda" aparentes en las imágenes producidas por espejos planos) y hemos sugerido argumentaciones y experiencias de aula que los profesores de física podemos emplear para favorecer una interpretación más correcta del comportamiento óptico de las superficies espejadas.

- HECHT E., ZAJAC A., 1977, *Optica* (Fondo Educativo Interamericano: EE.UU.)  
 LEVI L., 1968, *Applied Optics* (John Wiley and Sons: U.S.A.)