

Transferencia de Resultados de la Investigación Educativa al Aprendizaje de la Óptica

(Transfer of educational research findings to the learning of optics)

M. Pesa de Danón, L. Colombo de Cudmani y J. Salinas de Sandoval

Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología

Universidad Nacional de Tucumán, Avda. Independencia 1800, (4000) Tucumán, Argentina

Recebido para publicação em 12 de Agosto de 1992; Revisado pelas autoras em 30 de Setembro de 1993

Accito para publicação em 05 de Outubro de 1993

Resumen

Se analizan los resultados de la transferencia de la investigación educativa al proceso de enseñanza-aprendizaje de la formación de imágenes en la óptica geométrica. Se presentan una serie de experiencias realizadas con elementos de bajo costo, que al sacar a luz las preconcepciones y los modelos intuitivos más arraigados, favorecen la construcción de concepciones básicas y conectan la física con la realidad. La metodología usada en la implementación de esas experiencias se evidencia como un recurso instruccional valioso, ya que orienta al aprendiz hacia un aprendizaje creativo y autónomo capaz de producir el cambio conceptual.

Abstract

Results of the transfer of educational research findings to the teaching-learning process of image formation in geometrical optics are analysed. A series of low-cost experiments which, by giving light to the most resistant students' intuitive models and preconceptions, favor the construction of basic conceptions and connect physics with real world is presented. The methodology used in the implementation of the experiments ends up as an useful instructional aid since it guides the learner toward a creative and autonomous learning able to promote conceptual change.

I. Introducción

Importantes resultados de la investigación educativa, epistemológica, psicológica e histórica, confluyen actualmente en lo que con acierto, Novak¹ llama "constructivismo: un consenso emergente".

Desde distintos ángulos de reflexión, la mayoría de los epistemólogos²⁻⁸ coinciden en interpretar el conocimiento de la ciencia como una construcción conceptual, superando al modelo empírico inductivista que concibe el conocimiento como la generalización inductiva de comportamientos singulares observados.

El modelo epistemológico, junto con diversas interpretaciones del proceso psicológico de adquisición del co-

nocimiento, da lugar a su vez a diversos modelos de aprendizaje: el operacionalista genético^{5,6}, el de adquisición significativa de la Escuela de Cornell^{1,9,10}, el del cambio conceptual^{11,12}, entre otros.

En estrecha relación con estas ideas, una importante línea de investigaciones recientes^{13,14,15} pone de manifiesto cuán fuertemente arraigadas están las concepciones previas a la instrucción, al punto que ellas sobreviven y reaparecen después de años de estudios, incluso en graduados con altas calificaciones¹⁶.

Estas estructuras cognitivas previas pueden dificultar el aprendizaje y conducir al fracaso: - en la comprensión de las concepciones de la Física; - en la aplicación de modelos y teorías a la resolución de

problemas concretos; - en las predicciones de comportamientos de los sistemas físicos; - en la interpretación de fenómenos y de resultados.

Pero no necesariamente estas preconcepciones actúan como obstáculos para el aprendizaje. El docente puede generar recursos instruccionales en los cuales pre-conceptos y modelos intuitivos sean usados como una valiosa materia prima para la construcción del nuevo paradigma, empleándolos como núcleos subsunores en los que se arraigan las nuevas conceptualizaciones^{9,17,18}. El aprendizaje se orientará así a superar los esquemas conceptuales del sentido común (poco estructurados, con pobre interrelación y gran incoherencia) hacia una estructura más científica, más sólida, interconectada, de mayor validez y consistencia¹⁹.

En este trabajo se analizan los resultados de la transferencia de la investigación educativa en esta línea al área de la óptica, en particular a la problemática del proceso enseñanza-aprendizaje de la formación de imágenes, tema muy relacionado con los paradigmas sobre la naturaleza de la luz y su propagación²⁰⁻²⁷. Estos resultados se han enriquecido con los aportes de nuestra experiencia docente y las conclusiones obtenidas de experiencias pilotos estructuradas como talleres para profesores de física y docentes auxiliares en los niveles medios y universitarios básico²⁸.

Las experiencias que se mencionan en el trabajo se han seleccionado para cursos básicos universitarios. Sin embargo, este tipo de prácticas que buscan la clarificación conceptual, podría y debería hacerse antes. Tanto por su organización como por la etapa de desarrollo cognoscitivo que se encara, consideramos que podrían plantearse con éxito en la escuela de nivel medio (secundario), lo que sin duda facilitaría el aprendizaje de las conceptualizaciones más elevadas del nivel universitario y haría innecesario el presentarlas como introductorias en dicho nivel instruccional.

Actualmente se están implementado estas experiencias en los cursos introductorios de Física Experimental en las carreras de Ingeniería y Licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, como experiencias previas a las clásicas de la óptica (lentes, microscopio,

espectrografía, óptica láser, etc.).

Han sido diseñadas con elementos muy simples y de bajo costo y apuntan fundamentalmente a promover la actividad intelectual de construcción de conceptualizaciones. A partir de allí se pueden explicar múltiples experiencias y observaciones de la vida diaria conectando firmemente la Física de los libros con la Física de la realidad cotidiana.

En otro trabajo, desarrollado por los autores, se analiza en forma comparativa las dificultades en el desarrollo de las primeras conceptualizaciones en óptica a lo largo de la historia de la Física y los problemas involucrados en la construcción individual del conocimiento^{29,30}. Tomamos así conciencia que algunas ideas básicas, tales como la existencia física de la luz y su posibilidad de propagación en el espacio constituyen núcleos de dificultad de aprendizaje que llevó 2.000 años de especulaciones en la historia de la Física. Actualmente, la enseñanza de los conceptos elaborados en tantos siglos es comprimida en sólo algunos minutos, o no tenida absolutamente en cuenta.

La mayoría de las situaciones problemáticas planteadas son cualitativas. Esto no implica negar la importancia de la simbolización matemática o del cálculo en la Física. Lo que se busca es generar situaciones introductorias donde la elaboración de conceptualizaciones sea lo fundamental de forma tal que cuando en el futuro se introduzcan los algoritmos haya claridad y exactitud en los conceptos que ellos simbolizan.

No puede negarse la importancia del aprendizaje de la óptica en la formación de físicos e ingenieros. El 90% de la información que disponemos del mundo proviene del sentido de la vista. Por otro lado, a partir de la década del 60 el advenimiento del LASER en conjunción con las matemáticas de Fourier han abierto un campo de investigación con resultados extraordinarios: Óptica de Fourier, filtrado espacial, holografía, etc...

Se introduce además una metodología usada en la investigación, que rescatamos como muy valiosa para la enseñanza por el grado de compromiso y autonomía que genera en el aprendiz.

Valor didáctico de la metodología empleada en la investigación

Para organizar nuestra experiencia seleccionamos una metodología de investigación que a nuestro criterio y al de otros autores^{22,24} puede convertirse en un excelente recurso didáctico para sacar a luz, confrontar, comparar, proyectar y ampliar las concepciones que nos ocupan.

En particular, nos referimos a la metodología que consiste en enfrentar a los estudiantes con situaciones experimentales concretas y pedirles que predigan el comportamiento del sistema bajo determinadas circunstancias. En nuestra experiencia trabajamos, no con individuos, sino con grupos de tres o cuatro estudiantes, a fin de aprovechar la acción del grupo en la discusión final y en las conclusiones.

El proceso sigue los siguientes pasos:

- a) se describe y se explica la situación experimental a la que se refiere la prueba;
- b) se solicita a los alumnos que de forma individual pongan por escrito lo que esperan que ocurrirá bajo dadas circunstancias (se asigna a esta etapa un tiempo muy limitado);
- c) se pide ahora que, con más tiempo, justifiquen por escrito su previsión en base a sus conocimientos, con el apoyo de gráficos, cálculos, etc.;
- d) se efectúa el ensayo y se confronta con lo predicho;
- e) el docente y el grupo discuten las respuestas, su acuerdo o desacuerdo con el comportamiento observado. Se busca explicar qué falló en las predicciones erróneas.

Cada una de estas etapas desempeña una cierta función. La etapa (b) tiene por objeto sacar a luz las concepciones ingenuas y preconceptuales. Enfrentados a la necesidad de predecir un comportamiento, los estudiantes recurren al paradigma que tienen más internalizado, sea éste espontáneo, preconceptual o instruccional. La limitación en el tiempo tiene por objeto detectar cuáles son las concepciones más arraigadas. Es así como un porcentaje significativo de estudiantes enfrentados a un sistema óptico formado por una fuente

cuyo filamento tiene forma de serrucho, una lente convergente y una pantalla, predicen una imagen en forma de serrucho al retirar la lente. Este argumento contradice la experiencia cotidiana (los tubos fluorescentes no dan imágenes lineales) y saca a luz un modelo preconceptual muy arraigado que supone que la imagen se traslada como un todo con la forma del objeto.

En la etapa (c) el uso de herramientas racionales tales como relaciones funcionales, gráficos, etc., puede permitirles detectar por sí mismos incoherencias y contradicciones en su primer abordaje del problema. Frecuentemente las respuestas se modifican, lo notable es que no siempre se adecuan mejor a la realidad. De este modo se ponen de manifiesto preconcepciones erróneas generadas en un aprendizaje precientífico incompleto o pobremente elaborado, son los errores en la instrucción. A modo de ejemplo, recordamos las respuestas de algunos estudiantes que enfrentados al sistema óptico formado por una fuente con filamento en forma de serrucho, un obstáculo pequeño (respecto al tamaño de la fuente) y una pantalla, predican erróneamente que la pantalla aparecería uniformemente iluminada con una sombra en forma de cuenta. Los diagramas de rayos posteriores modificaban la primera predicción e indicaban nuevamente en forma incorrecta la formación de una imagen similar al filamento con una zona de sombra en forma de cuenta.

La etapa (d) es de confrontación con la experiencia.

En la etapa (e), la necesidad de reconciliar sus paradigmas con la realidad los lleva a un conflicto que, bien dosificado, se transforma en un excelente elemento motivador del cambio de paradigma¹⁹. Este tipo de situación se genera, por ejemplo, cuando en un sistema formado por una fuente, una lente convergente y una pantalla, el estudiante que predijo la desaparición de la imagen al tapar la mitad de la lente con un papel opaco, basándose en un modelo en el cual se supone que de cada punto de la fuente parte 1 o 2 rayos (rayos suficientes pero no necesarios para precedir la imagen), modifica su paradigma hacia un modelo que supone a cada punto de la fuente como emisor en todas las direcciones.

En síntesis, la técnica resulta muy movilizadora. El

problema inicial, "que era del docente" se transforma en el *problema del propio estudiante*, con ideas que él quiere defender o clarificar.

El tan pregonado protagonismo del alumno se logra operativamente. El es el agente activo y responsable de su propio aprendizaje, con lo cual es posible generar autonomía en el proceso.

Experiencias vinculadas a las conceptualizaciones sobre reflexión de la luz - imágenes en espejos

Las dificultades comienzan con la distinción entre reflexión difusa y especular. Aún cuando prácticamente el 100% de los aprendices puede dibujar sin titubeos los clásicos diagramas de rayos correspondientes a la reflexión especular o difusa, no se comprende que:

- la reflexión especular es una condición mínima para formar imagen;
- la reflexión difusa es la que permite que la mayoría de los objetos sean visibles^{20,25,26,27}.

Es por ello que en las prácticas que presentamos, se comienza con la discusión de situaciones cotidianas, muy simples, que en general los estudiantes no saben explicar. Estas situaciones corresponden a las preguntas que se detallan en el cuestionario del Apéndice I.

La contradicción entre las observaciones de la vida diaria y las predicciones de una teoría que aplican sin comprender (por ejemplo: ignorando la reflexión difusa y tratando a todas las reflexiones como especulares), se manifiestan frecuentemente.

Ocurre que aún cuando la Óptica geométrica es una de las teorías de la Física que brinda con facilidad la posibilidad de ser aplicada a un sistema real, ello raramente ocurre en la actividad tradicional del aula. Esto trae como consecuencia, entre otras cosas, que los algoritmos matemáticos y las representaciones geométricas estudiadas se apliquen sólo a problemas no reales, de lápiz y papel, mientras que en la interpretación de los fenómenos naturales se recurra a conceptualizaciones no científicas, a respuestas acríticas basadas en un "sentido común" muchas veces irracional e incoherente, o a aplicaciones igualmente acríticas de teorías extendidas a ámbitos donde no son válidas.

Las situaciones simples planteada en estas preguntas introductorias se reproducen en el laboratorio, se analizan con cuidado y se definen con claridad y precisión los conceptos elementales de la óptica geométrica (rayo, haz, espejo, reflexión, difusión, etc.).

Esta introducción, muy importante y clarificadora de acuerdo con la experiencia recogida²⁸, conduce al tratamiento del fenómeno de las imágenes ópticas y de su formación en espejos planos. Se plantean así una serie de experiencias como las que se describen en el Apéndice II, las cuales se realizan siguiendo la metodología descripta en el inciso anterior.

A partir de los resultados de esas experiencias²⁸ se pone de manifiesto que la formación de imágenes es un tema abstracto y difícil de explicar. No se enfatiza suficientemente que la formación de imágenes descansa en el hecho de que todos los rayos de luz emitidos por un punto luminoso convergerán en un mismo punto imagen²⁷ por efecto de la reflexión o refracción en un dado sistema óptico (lentes, espejos, etc.).

La mayoría de los estudiantes piensan en términos de un viaje "uno a uno" desde el punto luminoso al punto imagen por sólo un rayo y no ven la situación particular que se presenta cuando muchos rayos llegan al mismo punto. Es la idea de la "imagen viajera", similar al concepto de "eidola" que aparece en los primeros modelos intuitivos desarrollados por los griegos^{29,30}.

La discusión y la comparación de la predicción del estudiante y de su justificación, con el comportamiento realmente observado, permite aclarar confusiones muy generalizadas sobre:

- la posición absoluta de la imagen (su movimiento relativo al desplazarse el observador confunde mucho a los alumnos);
- el carácter de una imagen virtual (y su interpretación en base a un modelo de visión y de propagación luminosa);
- el rango de posiciones desde el que es posible ver la imagen de un dado objeto;
- el mecanismo de formación de imágenes (en particular, el comportamiento de la propia imagen cuando el observador se acerca o se aleja), donde

se detecta reiteradamente mucha confusión.

Experiencias vinculadas a las conceptualizaciones sobre formación de imágenes con lentes

Frente a un sistema físico real constituido por una fuente luminosa, una lente convergente y una pantalla, los estudiantes que han recibido instrucción formal en óptica geométrica manifiestan dificultades para comprender:

- las condiciones necesarias para la formación de una imagen real;
- la función de una lente de una pantalla;
- la relación única entre los componentes del sistema óptico;
- el significado de la imagen "en foco" y su relación, en este contexto, con el foco de la lente;
- el rol del detector: el ojo del observador;
- la fuente luminosa como conjunto de emisores radiando en todas las direcciones;
- la existencia de la imagen independientemente de la presencia del ojo o de la pantalla.

Estas dificultades se ponen de manifiesto cuando se plantean interrogantes tales como los que se ilustran en el Apéndice III. Se explicitan así una serie de preconceptos usados por los alumnos, tales como:

- concebir la posibilidad de una imagen en ausencia de la lente;
- imaginar rayos paralelos que transportan la imagen como un todo hacia la pantalla;
- asignar a la lente la función de mero instrumento para invertir y aumentar la imagen;
- suponer imprescindible a la pantalla para la formación de la imagen;
- interpretar al ojo del observador como una pantalla receptora;
- incompreensión de las consecuencias del cumplimiento de las leyes de refracción luminosa;

La instrucción contribuye, en ocasiones, al arraigo de estos preconceptos y a fortalecer el modelo intuitivo de la "imagen viajera" ya que:

- la excesiva insistencia en los llamados "rayos principales" no deja claro que cualquier par de rayos, de los infinitos que salen de un punto luminoso, permiten predecir la ubicación de la imagen de ese punto;
- se vacía de contenido fáctico a los algoritmos matemáticos y a las representaciones geométricas.

Experiencias vinculadas a las conceptualizaciones sobre formación de imágenes con orificios y obstáculos

Las investigaciones realizadas por Feher y Rice²⁴ revelan las dificultades de estudiantes y docentes en la comprensión e interpretación de los resultados obtenidos con sistemas experimentales capaces de producir imágenes con orificios pequeños (principio de la cámara oscura) y sombras con obstáculos.

Para sacar a luz los núcleos de dificultad, así como las preconcepciones y modelos intuitivos, se empleó un dispositivo experimental como el que se ilustra en el Apéndice IV. Se detallan además una serie de preguntas conceptuales que reflejan una situación problemática que el alumno debe enfrentar, predecir y explicar.

Los resultados de estas investigaciones coinciden con los encontrados por otros autores²⁵⁻²⁷. En efecto, se encuentra que la mayoría de las predicciones erróneas están fundamentadas en preconcepciones tales como:

- la concepción holística de la propagación luminosa que supone que la luz se propaga como un todo, con la forma de la fuente. Esto dificulta la posibilidad de predecir correctamente una imagen o una sombra con la forma del filamento cuando se coloca un orificio o un obstáculo pequeño (respecto a la fuente) entre la fuente y la pantalla;
- suponer a las sombras como otro tipo de imagen con existencia concreta y características similares a las de los objetos. No se evidencia una conceptualización simétrica entre imágenes y sombras; ni se conciben a éstas últimas como formadas por el bloqueo de la luz.

Además se perfilan tres tipos de modelos en las justificaciones de las predicciones:

- modelo "fit" (de encaje), es un modelo de ajuste. Todos los rayos paralelos emitidos por la fuente que "encajan" a través del agujero llegan a la pantalla. La imagen será la porción que atravesó el agujero;
- modelo "squeeze" (o de embudo), la luz viaja como un todo hasta el orificio, se estrecha y luego se abre. Así se explica la "cámara oscura" y la formación de la imagen con la forma de la fuente. Este modelo aparece como un modelo alternativo al anterior para justificar y explicar la observación de una imagen con la forma de la fuente;
- modelo "trigger" (de disparador), "cuando la luz golpea a un objeto, éste dispara una sombra". La sombra se concibe como la presencia de una entidad física, no como la ausencia de luz.

Es importante destacar que a pesar de la sencillez del sistema óptico empleado la temática planteada fue la más "atrapante"; adultos y niños manifiestan una especial atracción por las luces pero aún más por las sombras. Además, la gran mayoría realiza predicciones incorrectas al colocar un obstáculo entre la fuente y la pantalla. Es especialmente inesperada la observación de una sombra con la forma del filamento, pese a su analogía con el comportamiento de una cámara oscura (orificios pequeños).

Los esquemas y gráficos de los aprendices muestran en general un solo rayo partiendo de cada punto de la fuente y en la mayor parte de los casos paralelamente al eje del sistema. Estos errores conceptuales no suelen ser tenidos en cuenta durante la instrucción porque en general ésta descuida el análisis de la fuente.

La situación problemática puede, a partir de acá, complejizarse cuando aparecen interrogantes referidos a las características de la imagen, al alejar la fuente del orificio o disminuir las dimensiones del orificio o del obstáculo. Se introduce así al alumno en algunas problemáticas referidas a la Óptica Física y se señalan al menos cualitativamente la importancia de los límites de validez de un modelo.

Conclusiones

Las investigaciones educativas mencionadas en este trabajo tienen un gran valor de transferencia. Sus resultados son fácilmente extrapolables a las situaciones docentes institucionales, en lo referente a:

- detección y explicación de conceptualizaciones previas a la instrucción;
- ídem para conceptualizaciones recibidas en la instrucción asimiladas incorrectamente;
- empleo en el aula de metodologías usadas en la investigación.

El problema de formación de imágenes no es para nada trivial. El alumno irá progresivamente accediendo a modelos y teorizaciones de complejidad creciente, que exigirán una comprensión conceptual cada vez más abstracta. Los aspectos básicos, los principios físicos fundamentales, deben ser correctamente aprendidos desde los modelos más simples de la óptica geométrica.

El ojo es el detector usual empleado en las observaciones cotidianas y aún cuando se trata de un complejo sistema óptico, la instrucción tradicional no lo incorpora cuando analiza el comportamiento de los sistemas experimentales.

Las investigaciones ofrecen claras evidencias de modelos preconceptuales sobre la naturaleza de la luz, sus mecanismos de propagación y la formación de imágenes con lentes y espejos, que reaparecen aún después de una cuidadosa instrucción. Ellos presentan además un gran paralelismo con modelos alternativos que se usaron históricamente en la Física. Este proceso de cambios paradigmáticos, que a la Física le ha costado más de 2.000 años de reflexión, suele reducirse en la instrucción a una pocas referencias superficiales en el mejor de los casos.

Parece necesario que el docente acepte el desafío que significa lograr cambiar el rol que estas preconcepciones juegan en el aprendizaje, tomándolas como punto de partida para arraigar y construir las nuevas conceptualizaciones.

Por otra parte, rescatamos la importancia de incluir los contenidos básicos de la óptica geométrica, en particular los referidos a la formación de imágenes, en los

curricula de los colegios secundarios. En efecto, nadie puede dudar del valor motivador de cuestiones que nos preocupan desde niños: ¿por qué vemos? ¿qué es la luz? ¿por qué actúan como lo hacen las lentes y los espejos? ¿qué son las imágenes? No debemos olvidar que el 90% de la información que disponemos del mundo físico proviene del sentido de la vista y que el individuo desde niño asigna efectos mágicos a los fenómenos con luces y sombras.

Por otra parte, las experiencias planteadas pueden implementarse con elementos muy simples y de bajo costo. Ellas apuntan fundamentalmente a la actividad intelectual de construcción de concepciones.

A partir de esas concepciones se pueden explicar una gran cantidad de observaciones y experiencia de la vida diaria conectando firmemente la Física de los libros con la Física de la realidad.

Rescatamos por último el valor didáctico de la metodología usada en esta investigación. El proceso que implica: enfrentar al alumno con una situación problemática concreta, pedir que prediga lo que espera que ocurra, y que justifique sus predicciones para finalmente confrontar la predicción con la realidad, ha resultado fuertemente movilizador y motivador. Si la predicción se cumple hay gratificación e inquietud para seguir complejizando los cuestionamientos; si no se cumple, hay un gran "enganche" con el problema. Lo esencial, en síntesis, es que el problema del docente se transforme en el problema del aprendiz quien se convierte en el protagonista del proceso enseñanza-aprendizaje. Sus modelos alternativos se convierten en su propios núcleos conflictivos, generándose así la necesidad individual de reelaborar los conceptos hacia esquemas más objetivos, racionales y coherentes.

* Una versión preliminar de este trabajo ha sido publicada en las Memorias de la VII Reunión Nacional de Educación en la Física (REF-7), Mendoza, Argentina, 1991.

Referencias Bibliográficas

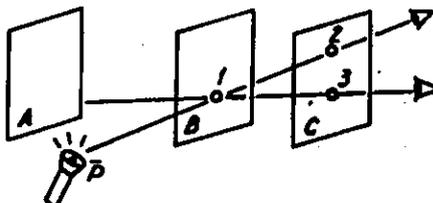
1. J. Novak, "Constructivismo humano, un consenso emergente", *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 1988.
2. M. Bunge, *La investigación científica*, Ed. Ariel, Barcelona, 1985.
3. K. Popper, *El conocimiento objetivo*, Ed. Tecnos, Madrid, 1983.
4. K. Popper, *La lógica de la investigación científica*, Ed. Tecnos, Madrid, 1985.
5. J. Piaget, *Introducción a la Epistemología Genética - 2 - El pensamiento físico*, Ed. Paidós, Buenos Aires, 1975.
6. J. Piaget, *Epistemología de las ciencias físicas*, Tomo IV del *Tratado de lógica y pensamiento científico*, Ed. Paidós, Buenos Aires, 1979.
7. I. Khun, *La estructura de las revoluciones científicas*, Breviarios, Fondo de Cultura Económica, México, 1984.
8. M. Lakatos, *La metodología de los programas de investigación*, Ed. Alianza, Madrid, 1983.
9. D. Ausubel, J. Novak, D. Hanesian, *Educational psychology: a cognitive view*, Ed. Holt Reinhart and Winston, New York, 1978.
10. M. A. Moreira, J. Novak, "Investigación en enseñanza de las ciencias en la Universidad de Cornell: esquemas teóricos, cuestiones centrales y abordajes metodológicos", *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 1988.
11. G. Posner y otros, "Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change", *Science Education*, 66(2), 1982.
12. M. Hewson, P. Hewson, "Effect of instruction on using student's prior knowledge and conceptual change strategies", *Science Education*, 66(2), 1983.
13. L. Viennot, "Spontaneous reasoning in elementary dynamics", *Eur. Journ. of Sc. Educ.*, 1983.
14. J. Clement, "Students preconceptions in introductory mechanics", *Am. Journ. of Physics*, 50(1), 1982.
15. R. Sollis Villa, "Ideas intuitivas y aprendizaje de las ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2, Nº 2, 1984.
16. P. C. Peters, "Even honor students have conceptual difficulties with physics", *Am. Jour. of Physics*, 1988.

- sics, 50(6), 1982.
17. D. Ausubel, "Aspectos psicológicos de la educación", En la compilación: *La Educación y la estructura del conocimiento*, Ed. El Ateneo, Buenos Aires.
 18. L. C. de Cudmani, P. Fontdevila, "Concepciones previas en el aprendizaje significativo del electromagnetismo", *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 1990.
 19. L. C. de Cudmani, J. Salinas, M. Pesa, "La generación autónomas de conflictos cognoscitivos para favorecer cambios paradigmáticos en el aprendizaje de la Física", *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), 1991.
 20. B. Andersson, C. Kärqvist, "How swedish pupils, age 12-15, understand light and its properties", *Eur. Journ. of Sc. Educ.*, 5(4), 1983.
 21. F. Goldberg, L. Mc Dermott, "Not all the wrong answers student give represent misconceptions", *Memorias del Seminario de Cornell sobre Misconceptions*, Ithaca, New York, USA, 1983.
 22. F. Goldberg, L. Mc Dermott, "Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror", *The Physics Teacher*, November, 1986.
 23. F. Goldberg, L. Mc Dermott, "An investigation of student understanding of the real image formed by converging lens or a concave mirror", *Am. Journ. of Physics*, 55(2), 1987.
 24. E. Feher, K. Rice, "A comparison of teacher - student conceptions in Optics", *Memorias del Seminario de Cornell sobre Misconceptions*, Ithaca, New York, USA, 1983.
 25. D. Smith, "Primary teachers misconceptions about light and shadows", *Memorias del Seminario de Cornell sobre Misconceptions*, Ithaca, New York, USA, 1983.
 26. E. Guesne, "Light" en "Children's ideas in Science", Open University Press, Milton Keynes, U.K., 1985.
 27. R. Bouwens, "Misconceptions among pupils regarding geometrical optics", *Memorias del Segundo Seminario de Cornell sobre Misconceptions*, 1987.
 28. L. C. de Cudmani, M. Pesa de Danón, J. Salinas de Sandoval, "Persistencia de los modelos intuitivos referidos a la naturaleza de la luz y formación de imágenes. Resultados de Experiencias piloto", 1991. En prensa.
 29. L. C. de Cudmani, M. Pesa de Danón, "Paralelismo entre los modelos precientíficos e históricos en la optica: implicancias para la educación", *Memorias de REF VII*, Mendoza, Argentina, 1991.
 30. M. Pesa de Danón, "La evolución de los modelos en optica como heurística potencial en la formulación de estrategias institucionales", *Memorias de REF VII*, Mendoza, Argentina, 1991.
 31. W. Kaminaki, L. Viennot, "Optique élémentaire", *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra (III Congreso), Tomo II, Barcelona, España, 1989.

Apéndice I

Cuestionario Introductorio (28) (20) (25) (31)

1. a) ¿ Puede verse el haz de luz que emite una linterna?; b) ¿ cuán lejos llega este haz (dé sólo un orden de magnitud); c) ¿ cómo se modificarían sus respuestas si: i) la linterna fuera mucho más potente?; ii) hubiera humo en el ambiente?; iii) en vez de una linterna tuviera un haz de luz láser?. Explique su respuesta en cada caso.
2. En el dibujo de la figura, A es una cartulina negra, B y C son cartulinas blancas con pequeños orificios (1) (2) y (3). En P se coloca una lámpara (la lámpara no está en la dirección determinada por (1) y (3). Si se enciende la lámpara ¿ qué se verá a través de:
 - a) (2) y (1)? Explique.
 - b) (3) y (1)? Explique



3. Se abre una ventana en una habitación oscura: ¿qué se observa dentro de la habitación?. Trate de explicar su respuesta mediante un gráfico de la trayectoria de la luz.

4. Se interpone la mano entre un foco luminoso y una pantalla

a) ¿ cómo lograría que la sombra sobre la pantalla se haga más pequeña?

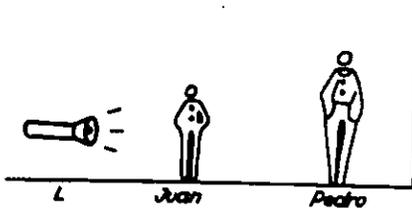
b) ¿ cómo lograría que la sombra tenga el mismo tamaño que la mano?.

Haga un gráfico para aclarar sus respuestas.

5. Un perro que está echado en la sombra que proyecta una pared; a) ¿ produce él mismo una sombra? Explique. b) ¿ se lo podría ver al perro?. Explique.

6. Explique por qué Ud. puede ver. Haga un gráfico que muestre cuál es el camino que recorre la luz para que sea posible la visión.

7. En la situación de la figura, ¿ cuál de las sombras, la de Pedro o la de Juan es mayor en la pantalla P? Explique por qué y grafique.



8. En una habitación con solo una ventana abierta ¿ pueden verse los objetos que hay adentro? ¿ todos? ¿ sólo algunos? Explique.

9. Cuando la luz se refleja en una pared ¿obedece a las leyes de la reflexión? Explique. ¿Porque Ud. no puede ver su imagen en ella?. Explique.

10. Si el día está nublado ¿arrojan sombras los objetos?. Explique por qué y trate de aclarar su respuesta con un gráfico.

11. ¿Qué color tiene la tapa de su cuaderno? ¿Cambiaría ese color si se modificara:

a) la intensidad de la luz que incide?

b) el tipo de fuente con que se ilumina?

c) el individuo que observa?

d) la dirección en que se ilumina el objeto?

Justifique cada una de sus respuestas.

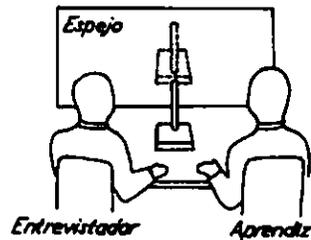
12. ¿Qué color tiene un espejo?

13. La imagen que vemos refleja en un espejo, ¿es real o virtual?. Explique.

Apéndice II

Experiencias con espejos planos (22) (28)

Se considera la siguiente situación experimental:



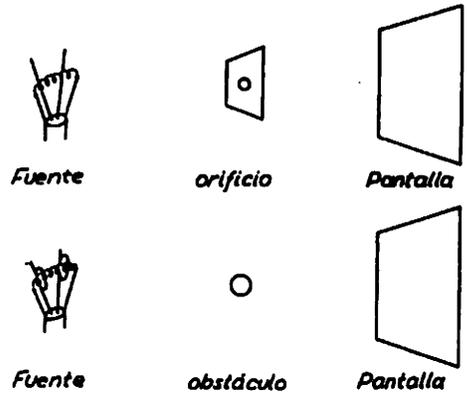
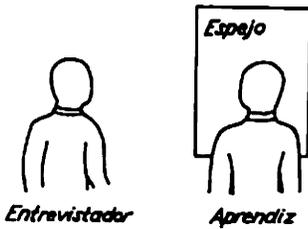
Si formulan las siguientes preguntas:

1. a) ¿Por qué puedes ver la imagen? ¿es ésta real o virtual? ¿Por qué? b) ¿Puedo recibir esta imagen en una pantalla?; c) pon tu dedo encima de donde está localizada la imagen; d) si estuvieras sentado donde yo (docente) estoy, y te pidiera que pongas tu dedo encima de la imagen ¿lo pondrías en el mismo lugar, o en otro diferente?.

2. "Cuando descubras el espejo, ¿podrás tú (el estudiante) ver la imagen? ¿podré yo (el docente) verla?.



3. "¿ Hay algo que puedas hacer para ver más de ti mismo en el espejo?"



Se formulan las siguientes preguntas referidas al primer sistema óptico:

- * ¿qué verá en la pantalla cuando encienda la fuente si se coloca una pantalla con un orificio grande (respecto a las dimensiones de la fuente)?
- * ¿qué verá en la pantalla cuando encienda la fuente si se coloca una pantalla con un orificio pequeño (respecto a las dimensiones de la fuente)?

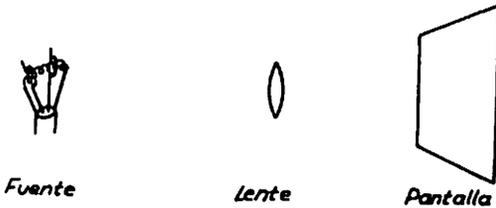
Se formulan las siguientes preguntas referidas al segundo sistema óptico:

- * ¿qué es una sombra?
- * ¿qué verá en la pantalla cuando encienda la fuente si se coloca un obstáculo pequeño (respecto a las dimensiones de la fuente)?
- * ¿qué verá en la pantalla cuando encienda la fuente si se coloca un obstáculo grande (respecto a las dimensiones de la fuente)?
- * ¿qué verá en la pantalla si no hay entre pantalla y fuente ningún obstáculo?

Apéndice III

Experiencias con lentes convergentes (23) (28)

Se considera el siguiente sistema óptico:



Se formulan las siguientes preguntas:

- * ¿qué espera observar si se retira la lente?.
- * ¿qué espera observar si se tapa la mitad de la lente?.
- * ¿dónde está ubicado el eje óptico de la lente?.
- * ¿la imagen en la pantalla es real o virtual? ¿Por qué? ¿por qué puede verla?
- * ¿es posible observar la imagen del filamento si se quita la pantalla y se ubica convenientemente el ojo?

Apéndice IV

Experiencias con orificios y obstáculos (24) (28)

Se consideran los siguientes sistemas ópticos: