
FORMAS DE RAZONAMIENTOS ASOCIADAS A LOS SISTEMAS PRECONCEPTUALES SOBRE NATURALEZA Y PROPAGACIÓN DE LA LUZ: RESULTADOS DE UNA EXPERIENCIA PILOTO

Marta Pesa

Leonor Colombo de Cudmani

Silvia Bravo

Instituto de Física

Universidad Nacional de Tucumán

Tucumán – Argentina

Resumen

En este trabajo se identifican y analizan algunas de las ideas o compromisos estructurales más profundos y los tipos de razonamientos que ellos llevan asociados en una temática básica de la Óptica: la naturaleza y propagación de la luz.

Se evalúan los resultados obtenidos en una experiencia piloto realizada con alumnos de las carreras de Licenciatura y Bachillerato en Física de los ciclos básicos universitarios.

I. Introducción

Dada la importancia que las concepciones previas tienen en el aprendizaje, importancia que se puso claramente de manifiesto en experiencias realizadas por numerosos investigadores en muchos campos de la Física, nos proponemos, en el presente trabajo, investigarlas en el área de la naturaleza y el comportamiento de la luz.

A partir de las primeras publicaciones de L. Viennot (1974) se multiplicaron trabajos que evidenciaron claramente la influencia de estas preconcepciones en el aprendizaje. En particular, frente a una situación problemática concreta que debe ser interpretada y explicada, ante la necesidad de prever comportamientos de un sistema físico, los estudiantes recurren a modelos y representaciones que, en general, no se corresponden con los modelos científicos que se presentan en la instrucción formal de la disciplina. Esos modelos precientíficos no tienen el mismo nivel de coherencia, ni el mismo grado de sistematicidad que las teorías científicas, pues ellos son el resultado de una construcción personal del individuo, en base a la necesidad de interpretar y explicar sus experiencias y observaciones.

Ciertamente, que la influencia de la experiencia diaria determina en gran parte las ideas del sentido común, pero, como se verá en algunos resultados de las investigaciones realizadas, la interconexión no es siempre directa. Las primeras conceptualizaciones son también

resultado de un proceso de construcción de significados por parte del sujeto. En este proceso aparecen algunas formas más o menos consistentes de razonamiento y un cierto grado de coherencia en el pensamiento común. Estudiar esas formas de razonamiento nos da a docentes e investigadores una visión más unificada de las ideas de los estudiantes, que un listado de ideas intuitivas que pudieren resultar de experiencias diarias no vinculadas entre sí (Viennot, 1990) y pueden convertirse en pistas para elaborar estrategias superadoras.

Dada la persistencia de estos sistemas preconceptuales parece importante identificar y analizar cuáles son las ideas estructurales profundas y las preconcepciones que las fundamentan. El supuesto implícito en este análisis es que algunos preconceptos, frecuentemente los más aplicados y compartidos, son más robustos que otros, son usados más a menudo y sirven como compromisos base en la construcción de las nuevas ideas. Aún más, el grado de compromiso de los estudiantes con sus propias ideas, como lo señala M. Reiner (1991) no es uniforme. Algunas ideas sirven como bloques básicos en la construcción de nuevas conceptualizaciones mientras que otras parecieran ser más puntuales e infrecuentes y aparecen como tanteos que se desechan rápidamente o como respuestas que se dan una sola vez.

El objetivo del presente trabajo es identificar algunas de las ideas o compromisos estructurales más profundos y los tipos de razonamientos que ellos llevan asociados.

La muestra investigada está integrada por estudiantes de las carreras de Licenciatura y Bachillerato en Física, que habían participado de clases de Óptica y realizado ejercicios de lápiz y papel, previamente a los trabajos prácticos de un curso de Laboratorio. Los comportamientos que se analizan son intentos por explicar algunas situaciones físicas sencillas referidas a la naturaleza de la luz y sus mecanismos de propagación. Pese a que se trata de una temática fundamental cuyas conceptualizaciones constituyen los núcleos básicos de cualquier área de la Óptica, en la práctica docente habitual tanto a nivel secundario como terciario o universitario, no se hace, en general, suficiente hincapié en ella. Aún más, no sólo se da muy poca importancia al aprendizaje de esta área de conceptualizaciones, sino que a menudo se usan estrategias instruccionales que parecen arraigar las conceptualizaciones erróneas (Pesa, Cudmani, Bravo, 1993; Pesa, Cudmani, Salinas, 1993). Esto es una consecuencia de la falta de toma de conciencia respecto a cómo están siendo interpretados los problemas ópticos, en base a los sistemas de ideas previos de los alumnos.

El proceso de reconstrucción y asignación de nuevos significados a los conceptos básicos de la Óptica, podría ayudar también a superar algunos núcleos de dificultad en áreas más complejas cuyo aprendizaje se ve frecuentemente obstaculizado por estas interpretaciones erróneas.

II. Hipótesis de trabajo

Aceptaremos como base hipotética los resultados ampliamente convalidados y difundidos sobre los siguientes aspectos:

- en el campo de la Óptica, así como en otros campos de la Física, se elaboran modelos precientíficos,
- esos modelos perduran aún después de la instrucción,

- algunos de ellos son compartidos por la mayoría de los estudiantes.

Además, en base a nuestros estudios previos sobre la enseñanza de la Óptica (Pesa, Cudmani, Salinas, 1993; Pesa, Cudmani, Salinas, Pesa, 1990) formularemos las siguientes hipótesis complementarias:

- las preconcepciones respecto a la naturaleza y propagación de la luz constituyen ideas estructurales profundas en esa área,

- existen tipos de razonamientos asociados a esas preconcepciones que constituyen un obstáculo para el aprendizaje de las concepciones científicas y que por lo tanto sería importante identificarlos,

- la clarificación de las preconcepciones y de los razonamientos asociados constituye un elemento fundamental para la formulación de estrategias basadas en el aprendizaje como cambio conceptual, metodológico, epistemológico y actitudinal (Cudmani, Salinas, Pesa, 1991).

III. Metodología de Trabajo

Se realizó una experiencia piloto con un grupo de 8 alumnos de las carreras de Licenciatura y Bachillerato en Física, antes de iniciar los trabajos prácticos de Óptica en un curso de Laboratorio. Se solicitó a los alumnos que respondieran a un cuestionario escrito y luego participaran de un conjunto de entrevistas semiestructuradas. Esos cuestionarios fueron suministrados individualmente, eran anónimos y los estudiantes se identificaban sólo por un seudónimo.

En este trabajo se analizan sólo los resultados de los cuestionarios escritos, los resultados de las entrevistas están siendo procesados.

La confiabilidad y la validez de los problemas empleados en el cuestionario fue controlada por:

- dos expertos que analizaron cada ítem propuesto,

- la corrección por más de un docente a fin de evitar en lo posible evaluaciones subjetivas,

- la comparación de los resultados obtenidos con tests similares en talleres realizados con profesores de nivel medio, terciario y universitario básico.

IV. Diseño experimental

Para esta primera etapa se diseñó una encuesta con el objeto de explorar las ideas previas más arraigadas y la metodología de trabajo utilizada cuando los estudiantes abordan algunas situaciones problemáticas referidas a: naturaleza y propagación de la luz, reflexión especular y difusa.

Se analizan a continuación las respuestas a algunos problemas planteados en el cuestionario.

V. Análisis de resultados

Naturaleza y Propagación de la luz

Problema 1 – a) ¿ Puede verse el haz de luz que emite una linterna?, b) ¿ Cuán lejos llega este haz? (Dé solo un orden de magnitud), c) ¿ Cómo se modificarían sus respuestas si: i) la linterna fuera mucho más potente? Explique. ii) si hubiera humo en el ambiente? Explique. iii) si en vez de un linterna tuviera un haz de luz laser? Explique.

Tests similares ya fueron utilizados por Guessne (1985) Y Andersson y Karqvist (1983) con estudiantes de nivel primario, por Tricárico (1987) con estudiantes de nivel medio y por Pesa, Cudmani y Salinas (1993) con profesores de nivel medio. Este trabajo complementa y profundiza esas investigaciones al ampliar el campo de investigación hasta el nivel básico universitario y poner especial énfasis en explicitar las argumentaciones y los razonamientos subyacentes a las preconcepciones sobre la visibilidad de la luz.

Para el ítem a se obtuvieron:

* 2 respuestas con justificación correctas,

* 6 respuestas incorrectas (Ejemplos: “puede verse en la oscuridad”, “no puede verse si hay otra fuente encendida”, “si la habitación está a oscuras el haz se ver mejor”, “será visible de acuerdo a la distancia”...)

Para el ítem b se obtuvieron:

* 1 respuesta correcta sin justificación

* 7 respuestas incorrectas (4 señalan que “llega a 10 metros”, 2 que “llega a 100 metros” y 1 que “llega a 7 km si hay oscuridad”).

Para el ítem c las respuestas más significativas fueron:

Linterna mas potente

* 6 “siguen viendo el haz”

* 2 no responden “si lo verán”

* 7 consideran que, además, mejor”, “aumenta el alcance”

Humo en el ambiente

* 6 “siguen viendo el haz” (Ej: “ahora lo vemos mejor”, “ahora puedo ver sus dimensiones”)

* 3 consideran además que “disminuye el alcance”

Haz laser

* 3 “siguen viendo el haz”

* 4 admiten que “el haz laser no se ve y la linterna sí”

* 6 consideran que aumenta el alcance

En este problema se pone de manifiesto que la mayoría de los entrevistados consideran obvia la idea de la visibilidad del haz luminoso, en particular si hay contraste suficiente, independientemente de que existan o no partículas en suspensión en el ambiente. Esta es una preconcepción a la que los docentes no prestamos, en general, ninguna atención. Presuponemos, erróneamente, que a nivel universitario los estudiantes han internalizado que la luz tiene existencia física real y que además es invisible y se propaga.

El ítem que evalúa la distancia que la luz puede viajar en el espacio, es uno de los de mayor número de respuestas incorrectas. Los argumentos parecen mostrar que los estudiantes no piensan en términos de la dinámica fundamental de la luz y sus efectos sobre la visión (Pesa, Cudmani, 1992). Consideran que la luz está presente sólo si hay efectos visuales detectables (Stead y Osborne 1980). Desde ese punto de vista, es coherente suponer que cuanto más intenso sea el haz luminoso más lejos llegará, independientemente de que existan o no partículas absorbentes en el medio.

Problema 2 – En la Fig. 1, A es una cartulina negra, B y C son cartulinas blancas con los pequeños orificios I, II y III. En P se coloca una lámpara. Si se enciende la lámpara, qué se verá a través de:

a) I y III? Explique.

b) I y II? Explique.

(Kaminski, 1991; Pesa, Cudmani, Salinas, 1993).

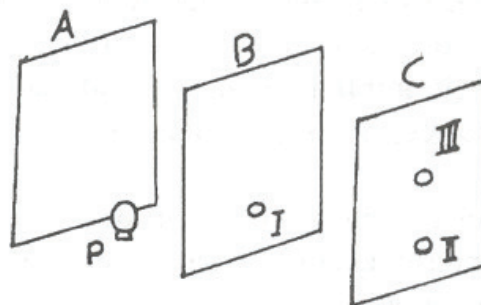
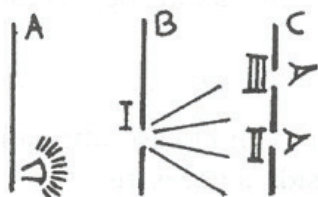


Fig. 1

Tipos de esquema que aparecen en la encuesta

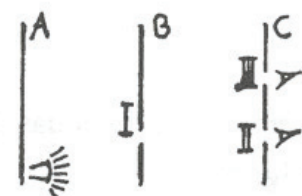


Por I y III

- * 1 “se ve un patrón de interferencia”
- * 1 “se ve la luz que ya no sigue la trayectoria rectilínea”

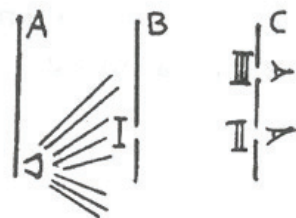
Por I y II

- * 1 “se ve un patrón de interferencia”
- * 1 “se ve la luz -se ve el espacio iluminado”



- * 1 “se ve la lámpara”
- * 1 “se ve oscuro”
- * 1 “se ve la cartulina negra”

- * 3 “se ve una zona oscura”



- * 1 “no se ve la cartulina negra porque no está en la línea de visión”
- * 2 “se ve la luz”

- * 3 “se ve la cartulina negra por la zona de visión” – “es la línea de visión la que determina lo que veo y no la luz que llega al ojo”

Fig. 2

El número que aparece a la izquierda de cada respuesta indica el número de alumnos que respondieron de forma similar a cada ítem.

Las respuestas a este problema parecen mostrar que:

- los estudiantes usan acríticamente segmentos rectilíneos que esquematizan a la luz desde el objeto hacia el ojo “que ve”, pero frecuentemente olvidan que esa luz es invisible. Estos resultados coinciden con los encontrados por otros autores (Kaminski 1991; Jung 1991);
- más, aún, la mitad de los estudiantes afirman explícitamente que “la luz se ve”;
- en sus razonamientos los estudiantes consideran que sólo la posición del ojo determina la visión, sin considerar que es fundamental que llegue luz al mismo. En otros trabajos (Pesa, Cudmani, Salinas, 1993) ya se señaló que si se pregunta a los estudiantes universitarios si la luz sale del ojo para hacer posible la visión de un objeto ellos responden inmediatamente que no, sin embargo es éste el modelo implícito que a menudo aparece para explicar numerosas situaciones físicas sencillas (experiencias con lentes, prismas, espejos, etc.);
- algunos estudiantes consideran acríticamente que se verá un patrón estable de interferencia. En efecto, la interpretación del papel que juega la primera abertura sobre la cartulina blanca B aparece, independientemente de sus dimensiones, como detonadora de una problemática de la Óptica Física. Ningún alumno hace referencia a las dimensiones del sistema óptico, ni a las dimensiones o al grado de monocromaticidad de la fuente. Una vez más se manifiesta el divorcio entre las construcciones incompletas y simplificadas que el alumno elabora en el aula y la realidad (Cudmani, Salinas, 1991).
- la supuesta difracción en la abertura I es interpretada por algunos estudiantes como una “comprobación experimental de que la luz no se propaga en línea recta”.

A fin de profundizar sobre este último tipo de interpretación se formuló explícitamente la pregunta que se enuncia a continuación.

Problema 3 – ¿ La luz se propaga en línea recta? Justifique su respuesta tanto en el caso afirmativo como negativo y realice un diagrama para aclarar su respuesta si Ud. lo considera necesario.

* 2 estudiantes responden afirmativamente, pero justifican de manera incompleta con un diagrama de rayos paralelos que salen de la fuente (Fig. 3).

* 3 estudiantes piensan que “el hecho de que una fuente emita luz en todas las direcciones es otro ejemplo de que la luz no se propaga en línea recta” (ver Fig. 4).

* 2 estudiantes responden que “es incompleto decir que la luz se propaga en forma rectilínea, ya que la difracción es una manifestación de que la luz puede desviarse de la misma”

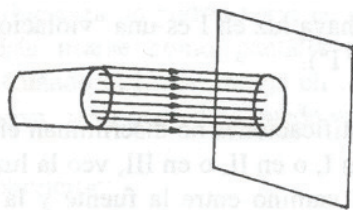


Fig. 3

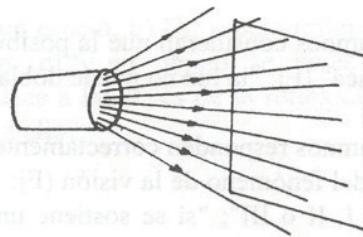


Fig. 4

Estas respuestas parecen mostrar que:

- * los estudiantes usan diagramas correctos pero incompletos para representar el comportamiento de la luz, ya que la luz puede efectivamente propagarse en las direcciones marcadas en la figura 3 y 4. Sin embargo, esos diagramas no muestran un aspecto esencial de la emisión espontánea, la emisión divergente de rayos desde cada punto de la fuente.
- * los diagramas de rayos paralelos serían consistentes con una concepción holística de la propagación luminosa donde se supone que la imagen del objeto se traslada por el espacio como un todo (Galili, Bendall, Goldberg, 1993; Feher y Rice 1990);
- * algunos estudiantes confunden propagación rectilínea con propagación paralela,
- * algunos estudiantes conceptualizan erróneamente a la difracción, suponiendo que este fenómeno representa un ejemplo de la propagación no-rectilínea.

Reflexion especular y difusa

Se trata a continuación de investigar si los estudiantes tienen en claro el mecanismo que hace posible que se vean los objetos. Para ello se planteó un grupo de problemas, uno de los cuales se describe a continuación, conjuntamente con las respuestas dadas por los estudiantes al mismo. También se incluyen algunos enunciados de respuestas verdadero o falso con justificación.

- Problema 4 – a) Considere una lámpara en una habitación con puertas y ventanas cerradas. ¿En cuáles de las tres partes marcadas en la figura piensa Ud. que hay luz?
- b) ¿Cambiaría su respuesta si hubiera una ventana abierta y el día estuviera soleado?

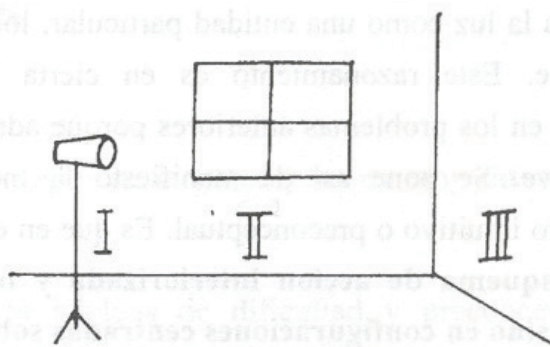


Fig. 5

Para el ítem a:

- * la mitad de los alumnos responden que no habrá luz en la zona I (Ej: “sólo habrá en un cono determinado por la lámpara”),

* 4 alumnos consideran que la posibilidad de que haya luz en I es una “violación de la propagación rectilínea” (Ej: “la luz no puede doblarse e iluminar I”).

* 4 alumnos responden correctamente, pero sus justificaciones no discriminan el comportamiento de la luz del fenómeno de la visión (Ej: “si me paro en I, o en II, o en III, veo la luz, por lo tanto existe luz en I, II o III”; “si se sostiene un objeto en el camino entre la fuente y la pared, éste aparece iluminado”).

Para el ítem b:

* todos los alumnos responden afirmativamente. Aún más, los que responden negativamente al ítem a, cambian ahora su respuesta (Ej: “habrá luz al abrir una ventana según la ubicación de ésta”).

El análisis de estas respuestas parece indicar que ninguno de los estudiantes que respondieron a esta encuesta tiene en cuenta la posibilidad de la reflexión de la luz en las paredes. Incluso, los que afirman que habrá luz en I justifican este hecho por “la emisión de la fuente en todas las direcciones” (con esquemas que muestran un solo rayo partiendo de cada punto), sin tener en cuenta la posibilidad de la reflexión difusa. Este tipo de respuesta no es sorprendente si se tiene en cuenta que la reflexión difusa es prácticamente un fenómeno al que no se hace mención en la mayoría de los libros de textos a pesar de su importancia en la visión de los objetos.

La reflexión difusa tampoco es tenida en cuenta en el ítem b cuando estos mismos alumnos que negaron que haya luz en I cambian su respuesta y admiten que habrá luz en I pero sólo “si la ventana está ubicada convenientemente”. Por lo tanto la única explicación posible para que haya o no luz en un punto de la habitación se basa en la propagación rectilínea. Este resultado es coincidente con el encontrado por Bowens (1987), con alumnos de nivel medio y universitario básico.

A diferencia de los resultados de Guesne (1985), quien trabajó con niños pequeños que asociaban y ubicaban a la luz en la fuente, o en el lugar donde se percibían sus efectos (manchas luminosas en el piso), la mayoría de nuestros alumnos universitarios (como los científicos) consideran a la luz como una entidad particular, localizada en el espacio entre la fuente y el efecto que produce. Este razonamiento es en cierta medida incoherente con las preconcepciones explicitadas en los problemas anteriores porque admite implícitamente que existe luz pese a que la luz no se ve. Se pone así de manifiesto la incoherencia y contradicción en que incurre el conocimiento intuitivo o preconceptual. Es que en este pensamiento prelógico **“relación inmediata entre un esquema de acción interiorizada y la percepción de los objetos, la intuición no desemboca sino en configuraciones centradas sobre esa relación”** y cuando aparece otro “centro” las relaciones no son susceptibles de componerse entre sí. De alguna manera la estructura conceptual de la configuración intuitiva se halla siempre **“centrada en un estado particular del objeto y en un punto de vista particular del sujeto”** (Piaget, 1973).

Problema 5 – Considere los enunciados dados a continuación. ¿Son ellos verdaderos o falsos? Justifique en cada caso su respuesta. a) Una hoja de papel refleja la luz en menor proporción que un espejo ya que si lo hiciese uno podría verse en ella como en un espejo. b) Un espejo refleja mucha luz, por lo que podría usarse como pantalla de proyección. c) Si un objeto se ve es porque refleja la luz. d) Cuando la luz se refleja en una pared obedece a las leyes de la reflexión? Si su respuesta es afirmativa, ¿Por qué ud no puede ver su imagen en ella?

Para el ítem a se obtuvieron:

- * 1 respuesta correcta con justificación incorrecta (“el papel no cumple con las leyes de la reflexión”)
- * 1 respuesta correcta con justificación incompleta (“por las características de la superficie, no puede verse”)
- * 6 respuestas incorrectas (Ej: “no se ve porque la hoja no refleja toda la luz que llega”)

Para el ítem b se obtuvieron:

- * 2 respuestas correctas con justificación incorrecta (Ej: “el espejo no puede formar la imagen”, “la pantalla debe ser absorbente”)
- * 4 correctas con justificación incompleta (Ej: “no importa cuánta luz refleje sino cómo”)
- * 2 respuestas incorrectas sin justificación

Para el ítem c se obtuvieron:

- * 3 respuestas correctas con justificación correcta
- * 3 respuestas correctas sin justificación
- * 2 respuestas incorrectas (Ej: “no se ve porque refleje la luz, sino porque es iluminado”)

Para el ítem d se obtuvieron:

- * 2 respuestas correctas con justificación correcta
- * 1 respuesta correcta sin justificación
- * 5 respuestas incorrectas (Ej: “aparece una imagen en la pared pero es muy difusa”, “la pared absorbe más de lo que refleja”)

Los resultados muestran algunos núcleos de dificultad y preconcepciones muy arraigadas. Es así cómo:

- no se discrimina las similitudes y diferencias entre la reflexión especular y la reflexión difusa. En ese sentido, muchas respuestas suponen que la radiación, al incidir sobre una pared, no cumple con las leyes de la reflexión;

- se supone, erróneamente, que una hoja de papel no forma imagen sólo por un problema de intensidades, porque absorbe la mayor parte de la radiación incidente. Los alumnos que hacen mención a las características de la superficie tienen una visión incompleta del fenómeno. Ninguno de los alumnos hace referencia explícita a la reflexión difusa como la causa de que la imagen no se forme. Esto revela un desconocimiento, tanto del concepto de reflexión difusa, como del mecanismo de formación de imágenes por una superficie plana;

- la incompreensión del fenómeno de reflexión, sea especular o difusa, genera también las interpretaciones incorrectas sobre el rol del espejo y de la pantalla de proyección. Es así como ninguna de las respuestas hace mención a las condiciones de reflector difuso que debe tener la superficie de la pantalla, sólo algunos estudiantes señalan que hay diferencias entre las superficies pero no pueden llegar a expresarlas correctamente. Ellos señalan, erróneamente, que las diferencias podrían deberse a diferentes grados de absorción de la radiación luminosa en las superficies. En la mayoría de las justificaciones se identifica “reflectante” o “alto coeficiente de reflexión” sólo con reflexión especular;

- ninguna de las justificaciones al ítem c, que analiza la visión de un objeto, hace mención a la reflexión difusa como una condición mínima para que ésta sea posible.

En síntesis, en las explicaciones referidas al comportamiento de las distintas superficies sobre las que incide radiación luminosa entran en juego tres ideas básicas:

- la reflexión sólo puede ser especular

- la intensidad del haz luminoso reflejado determina la formación de una imagen

- la proporción de radiación absorbida en la superficie determina si esa imagen puede o no verse.

Estos resultados confirman una vez más el gran arraigo de la preconcepción holística sobre la imagen. “Ella viaja como un todo en el haz luminoso que se propaga”. De esa manera, este modelo supone que lentes, espejos, orificios pequeños,... no determinan su formación, solo modifican su posición o mejoran su visión (Feher, 1990: Galili, Goldberg, Bendall 1991).

Problema 6 – Si Ud se parase frente al espejo, y con un trozo de jabón marcara la imagen de su cara sobre el espejo, ¿ Cuál sería el ancho o la altura de la misma? ¿ Depende el valor de ese ancho (o de esa altura), de su distancia al espejo?

La mayoría de los alumnos dieron respuestas incorrectas a este problema. La respuesta más usual era: “menor el tamaño de la imagen cuanto más alejado está el observador”.

El cuestionamiento sobre la relación entre las respuestas dadas a este tipo de problema y las experiencias cotidianas llevó a un análisis sobre los modos de razonamiento intuitivo que se analizan en el próximo ítem.

Hay alguna vinculación directa entre las ideas de los estudiantes en Óptica geométrica y las experiencias de la vida cotidiana?

Algunos autores sostienen que el proceso de formación de los sistemas preconceptuales es bastante más complejo que un mero mecanismo de inducción y generalización a partir de observaciones (Reiner, 1991; Viennot, 1990). En muchos casos parece claro que existen modelos de razonamiento a la luz de los cuales se interpretan las observaciones aún cuando estas interpretaciones contradigan evidencias y observaciones de la vida cotidiana. Es así como los estudiantes predicen que, para un sistema óptico formado por un tubo fluorescente cuya porción central está tapada con una cartulina negra, y una pantalla, se formarán dos imágenes lineales sobre la pantalla.

Estos otros elementos que no se limitan a simples procesos empíricos de observación e inducción deberían ser tenidos en cuenta al interpretar las respuestas de los alumnos. Por ejemplo, L. Viennot (1990) ha observado que, en los razonamientos intuitivos, los fenómenos complejos son a menudo analizados como resultado de otros más simples que son descriptos, preferiblemente, en términos de una sola variable. Estos fenómenos simples son encarados uno después del otro, en una cadena lineal: $z_1 \rightarrow z_2 \rightarrow \dots \rightarrow z_n$ que tiene un doble status, implicativo y cronológico. Es poco usual, en esa estructura de razonamiento encarar dos aspectos de una dada situación, como desenvolviéndose simultáneamente. Esto es lo que ocurre con las respuestas al problema 6.

En este problema, dos variables cambian simultáneamente cuando se mueve el espejo: la distancia entre el sujeto y el espejo, y la distancia entre el espejo y la imagen. Las respuestas de los estudiantes no tienen en cuenta este hecho al considerar que cuánto más lejos esté el observador del espejo menor será el tamaño de la imagen.

Probablemente la imagen es considerada como permaneciendo en el mismo lugar, “mirando al sujeto”, como lo hace un observador en una ventana, en este caso el espejo, y “captando una imagen cada vez más grande a medida que el sujeto se aleja. En este razonamiento la posibilidad de un desplazamiento simultáneo es ignorada.

VI. Conclusiones de las experiencias

Estructura de las concepciones detectadas en base a los resultados del trabajo

El cuadro que se presenta a continuación, representa una síntesis de los resultados del trabajo. De acuerdo a nuestras hipótesis, el núcleo estructural más profundo de las concepciones intuitivas en la Óptica es el modelo holístico de propagación de la imagen. Los conceptos centrales se fundamentan en esa idea y se estructuran sin disociar ni discriminar la física de la luz de los fenómenos perceptivos. Adquieren entonces significado y coherencia en el marco de ese modelo, preconcepciones tales como: “la luz se ve”, o “la luz sólo puede llegar hasta una distancia finita”, o “de cada punto de una fuente se emite un solo rayo”, ...

Los razonamientos asociados a estas concepciones son característicos del conocimiento común. Ante un problema donde una magnitud es función de dos o más variables

éstas no son abordadas en conjunto sino en forma secuencial. La cadena de razonamientos se entrelaza como una secuencialización cronológica. Las predicciones se abordan analizando el efecto de “una variable por vez”, sin considerar la simultaneidad de algunos efectos que eventualmente pueden ser competitivos (Viennot, 1990).

**Conceptualización
Holística**

Conceptos centrales

- * la luz se ve
- * la luz se propaga no solo en forma rectilínea
- * la luz se refleja sólo en forma especular
- * de cada punto de una fuente de luz se emite un solo rayo

Razonamientos asociados

- * las variables que caracterizan a un sistema varían una por vez
- * pensamientos prelógicos

Ideas principales

- * la presencia de luz es necesaria tanto para la formación como para la observación de la imagen
- * el alcance de un haz luminoso depende de la intensidad de la fuente
- * un objeto se ve porque es iluminado y no por su condición de reflector
- * tanto pantallas como espejos pueden formar imágenes
- * la posición del ojo determina la visión de un objeto

En nuestras clases damos por supuesto que nuestros alumnos de los ciclos básicos universitarios tienen una concepción similar a la científica sobre la naturaleza y propagación de la luz, y nos limitamos a explorar sus propiedades y las leyes que rigen su comportamiento en lentes y espejos. Pero, ¿qué es lo que verdaderamente piensan nuestros alumnos respecto a la naturaleza de la luz? En general, no nos cuestionamos. Muy a menudo, las dificultades respecto a las nociones básicas de la Óptica elemental, son en general subestimadas, a pesar de que aparecen incluso en los docentes que la enseñan (Pesa, Cudmani, Salinas, 1993).

Como ya se señaló en trabajos anteriores (Pesa, Cudmani 1993; Guesne, 1985), las preconcepciones son fortalecidas frecuentemente por el lenguaje cotidiano. En lugar de hablar de radiación luminosa, o de luz, se habla de “la luz”, como si fuese una entidad particular y no como un flujo que se emite, se propaga e interacciona con la materia. Esta perspectiva holística, si no es puesta en conflicto y reelaborada, es origen de errores conceptuales en la comprensión y conceptualización de la formación de imágenes con lentes, espejos, orificios o prismas.

Por otra parte, en el lenguaje diario no tenemos, en general, necesidad de cuestionarnos respecto a la luz como entidad física que viaja desde el objeto luminoso o iluminado al ojo. Pero, cuando el docente habla de luz en el aula de clase, el contexto es diferente, el estudiante no lo advierte y traslada al aula sus nociones generadas en un contexto totalmente diferente, que es el de la vida diaria.

Parecería fundamental entonces, delimitar y discriminar los contextos a través de situaciones de aprendizaje que provoquen en el estudiante una actitud de cuestionamiento del paradigma intuitivo. Estas situaciones deberán tener en cuenta dos aspectos, a nuestro criterio muy importantes: en primer lugar construir el concepto de luz como entidad física que se propaga en el espacio y que es invisible e incolora. En segundo lugar, discriminar la física de la luz de los procesos de la visión abstrayendo de las preconcepciones y sensaciones las conceptualizaciones científicas de la Física.

Respecto al comportamiento de la luz en los procesos cotidianos de reflexión, en la mayoría de los casos, los estudiantes no tienen en cuenta el proceso de interacción entre la luz y los objetos, cuando la palabra reflexión no aparece en forma explícita. La interpretación dominante para explicar el comportamiento de la luz en un recinto es la siguiente: “la luz sale de la fuente y queda en los objetos”. Esta preconcepción proviene de un proceso de conceptualización a partir de experiencias previas: con espejos pueden desviarse rayos de luz, mientras que con objetos opacos el efecto más significativo tiene lugar en el mismo objeto (“se pueden observar zonas iluminadas”). No debe entonces resultar sorprendente que los estudiantes frecuentemente desconozcan la posibilidad de que un objeto rugoso refleje la luz, e identifiquen reflexión como sinónimo sólo de reflexión especular.

La instrucción afianza aún más esta preconcepción cuando en general omite el estudio del comportamiento de las superficies rugosas y se focaliza en el estudio de la reflexión especular en las superficies idealmente pulidas.

Por último, resulta evidente para la mayoría de los estudiantes, que un espejo refleje los rayos de luz incidentes y que cumpla con las leyes de la reflexión. Sin embargo, no relacionan este fenómeno con la formación de imágenes. Esta disociación es afianzada por la instrucción (Pesa, Cudmani, Bravo, 1993), en muchos textos de Física del nivel secundario se habla sólo de

reflexión especular, y la formación de imágenes por espejos se presenta generalmente en un texto aparte, sin que resulte una consecuencia evidente de la reflexión especular.

VIII. Bibliografía

ANDERSON B.; KARRQVIST C. “How swedish pupils, age 12- 15, understand light and its properties”. *Europ. Journal of Sc. Ed.*, v. 5, n. 4, 1983.

BOWENS R. “Misconceptions among pupils regarding geometrical optics” *Proc. of the Int. Seminar on Misc. - Cornell University - v. III*, 1987.

CUDMANI L. C. de; SALINAS J. “Modelo y Realidad”. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 8, n. 3 .Universidad Federal de Santa Catarina – Brasil, 1991.

CUDMANI L. C. de; SALINAS J.; PESA M. 1991. “La generación autónoma de conflictos cognitivos para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de la Física”. **Revista de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 1.

CUDMANI L. C. de; SALINAS J.; PESA M. “Paradigmas en la Enseñanza de la Optica Física – Resultados de una experiencia piloto”. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 3, n. 1, 1990.

FEHER E. “Interactive museum exhibits as tools for learning. Explorations with light”. **Int. Journ. of Sc. Educ.**, v. 12, n.1, 1990.

FERRARI A.; REISZER J. C.; TRABA H.; TRICÁRIO H. 1987. “Concepciones alternativas en Optica (II)”. *Memorias de la Vª Reunión Nac. de Ed. en la Física – Mar del Plata – Argentina*.

GALILI I.; GOLDBERG F.; BENDALL S. “Some reflections on plane mirrors and images”. **The Physics Teacher**, october 1991.

GALILI I. “The effects of prior knowledge and instruction on understanding image formation”. **Jour. of Research in Science Teach**, v. 30, n. 3, 1993.

GUESNE E. “Children’s ideas in science” Chapter II Light” – Open University Press – Milton Keynes – U.K, 1985.

JUNG W. “Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties”. *Proc. of the International Workshop – University of Bremen – Germany*, 1991.

KAMINSKI W. “Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumierè” – *Bulletin de l’union des physiciens*, n. 716, 1991.

- PESA M.; CUDMANI L. C. de. “Paralelismo entre modelos precientíficos e históricos en la Optica” – Aceptado para su publicación en el Caderno Catarinense de Ensino de Física, 1993.
- PESA M., CUDMANI L. C. de; SALINAS J. 1993. “Transferencia de los resultados de la investigación educativa al aprendizaje de la Optica”. Enviado para su publicación a la Revista Brasileira de Ensino de Física.
- PESA M.; CUDMANI L. C. de; BRAVO S. “¿Contribuimos los profesores a afianzar las preconcepciones?”. Enviado para su publicación a Memorias de REF 8, 1993.
- PIAGET J. “Sicología de la Inteligencia”. Ed. Psique Buenos Aires, 1973.
- REINER M. “Patterns of thought on light, and underlying commitments” Proc. of the Int. Workshop Univ. Of Bremen-Germany, 1991.
- STEAD B.; OSBORNE R. “Exploring science student’s concepts of light”. **The Australian Science Teacher Journal**. Plata – Argentina, 1980.
- VIENNOT L. “Sens physique e raisonnement formel en dynamique élémentaire”. Bulletin de la Société Française de Physique – Encant Pédagogique, v. 2, p. 35-46, 1974.
- VIENNOT L. “Student’s ideas and common experience: a direct link? Examples in geometrical optics”. Goethe Inst Frankf, 1990.