

---

# CONCEPCIONES Y PRECONCEPCIONES REFERIDAS A LA FORMACIÓN DE IMÁGENES.

TESIS DOCTORAL: MARTA A. PESA DE DANÓN<sup>(1)</sup>

DIRECTORES DE TESIS: MARCO ANTONIO MOREIRA<sup>(2)</sup>

LEONOR COLOMBO DE CUDMANI<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Física. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.  
Universidad Nacional de Tucumán. Argentina

<sup>(2)</sup> Instituto de Física. Universidad Federal de Rio Grande do Sul.  
Porto Alegre. Brasil.

---

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los aspectos más relevantes de la tesis doctoral "Concepciones y preconcepciones referidas a la formación de imágenes con múltiples sistemas ópticos". A partir del planteo de una problemática detectada en las aulas de los ciclos básicos universitarios se investiga las concepciones alternativas (conceptos, modos de razonamiento, concepciones epistemológicas, axiológicas y ontológicas) que dificultan el proceso de reconstrucción de los modelos científicos.

## ABSTRACT

In this work are presented the most relevant aspects of the doctoral thesis "Conceptions and preconceptions referred to the images produced with multiple optical systems". From a problematic situation detected in the classrooms of the university basic cycles, are investigated the alternative conceptions (concepts, reasoning manners, and epistemological, axiological and ontological conceptions) that hinder the reconstruction process of the scientific models.

## 1. PLANTEO DEL PROBLEMA.

En las últimas décadas se han desarrollado dos líneas de investigación, desde la Física y desde la Enseñanza de la Física, que han revalorizado y aportado nuevos enfoques a cuestiones vinculadas a la formación de imágenes. En efecto, desde la Óptica, han adquirido relevancia temas tales como: Óptica de Fourier, instrumentación Láser, procesamiento de imágenes, filtrado espacial, holografía, ...lo que ha llevado a profundizar los modelos que proponen mecanismos para predecir y explicar estos fenómenos. Desde la Enseñanza de la Física, investigaciones realizadas en distintos centros educativos (Feher, Rice, 1987; Galili, Bendall, Goldberg, 1993; Kaminski 1991, Settlege 1995; Watts 1985) han mostrado que la comprensión de estos mecanismos se dificulta como consecuencia de que no se han superado eficiente-

mente las concepciones alternativas, no sólo respecto a la formación de imágenes, sino sobre la misma naturaleza de la luz y la visión.

Teniendo en cuenta esta problemática, fundamentado en un paradigma que rescata el conocimiento como producto de una construcción individual y colectiva y desde una perspectiva interdisciplinaria que integra, entre otros, los aportes de la Psicología del Aprendizaje y del Epistemología e Historia de las Ciencias, en esta tesis se investigan las concepciones alternativas de los alumnos y docentes referidas a la formación de imágenes y los núcleos de dificultad que presenta la interpretación científica de esta temática, durante un curso de Laboratorio de Óptica Básica y en talleres de formación y actualización de profesores.

La temática de la formación de imágenes dista mucho de ser una cuestión trivial. Se vincula tanto con las concepciones alternativas que los individuos elaboran para explicar la visión, la naturaleza y propagación de la luz y el comportamiento de sistemas ópticos usuales como lentes y espejos, así como con los modelos científicos más sencillos de la Óptica Geométrica, hasta los modelos más complejos de la Óptica de Fourier o la Teoría de Abbe. **Cómo se produce la reconstrucción de estos modelos científicos a partir de los modelos precientíficos y cuáles son los obstáculos que dificultan esa construcción, constituyen dos cuestiones foco de las investigaciones planteadas en esta tesis.**

La conceptualización sobre la formación de imágenes ha sido estudiada por otros autores. Sin embargo, en general, las investigaciones realizadas no han superado la *etapa descriptiva*, quedando reducidas a un listado de conceptos inconexos, con escasas posibilidades de generar aportes transferibles al aula.

En este trabajo se intenta superar esa instancia, procurando:

- investigar holísticamente el proceso de aprendizaje incorporando por ejemplo los modos de razonamiento (Pesa, Cudmani, Bravo, 1996; Pozo et al. 1991; Salinas, Cudmani, Pesa, 1996);

- inferir una estructura interna de esas concepciones: compromisos estructurales, ideas centrales, formas de razonamiento, concepciones epistemológicas y axiológicas, valores y creencias. La hipótesis implícita en esta búsqueda es que algunas ideas, frecuentemente las más usadas y compartidas, presentan mayor persistencia, pues sirven como bloques básicos en la construcción de nuevas conceptualizaciones (Lakatos 1983, Reiner 1991);

- analizar e inferir conclusiones sobre el proceso de construcción de los modelos científicos en términos de "vestigios" de modelos y formas de razonamiento alternativos.

Merece destacarse también que las investigaciones sobre concepciones alternativas documentan, en general, las ideas pre-instruccionales y analizan sus modificaciones a posteriori de la instrucción. Sin embargo, en un marco de referencia como el de esta tesis, en que el conocimiento se concibe como una reconstrucción progresiva, resulta fundamental entender cómo surgen estas ideas, por qué persisten y cómo se modifican durante la instrucción. Esta información experimental es de gran interés si se pretende: elaborar criterios para planificar la

enseñanza de la Óptica con criterios más científicos y eficientes, aportar "pistas" para la propuesta de estrategias superadoras que favorezcan el aprendizaje significativo de la Óptica, y disponer de datos con alto potencial de transferencia a todos los niveles educativos.

La tesis consta de 7 capítulos:

- en el capítulo 1 se presenta y justifica la importancia de la problemática a investigar, se explicita el marco teórico y se formulan las hipótesis;

- en el capítulo 2 se sistematizan, con criterios fundamentados teóricamente, los resultados de investigaciones previas sobre concepciones alternativas;

- en el capítulo 3 se describe y justifica la metodología de investigación y las técnicas de recolección de datos;

- en los capítulos 4 y 5 se describen y analizan los datos obtenidos para un conjunto de temáticas: naturaleza y propagación de la luz; formación de imágenes con: orificios, lentes, espejos, prismas y hologramas, formación de sombras y procesamiento de la información óptica. Se interpretan y formulan hipótesis explicativas a la luz del marco teórico de referencia;

- en el capítulo 6 se analizan algunas cuestiones sobre prácticas docentes que podrían reforzar las concepciones alternativas de los estudiantes;

- en el capítulo 7 se presentan las conclusiones y se describen las líneas de investigación que quedan abiertas para seguir investigando en proyectos futuros.

## 2. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA.

El modelo de aprendizaje que sirve de marco de referencia a las investigaciones realizadas y que consideramos constituye un aporte original a la Enseñanza de las Ciencias (Cudmani, Pesa, Salinas 1997) fue enriqueciéndose y desarrollándose a medida que avanzábamos en nuestras investigaciones en diversos campos: enseñanza-aprendizaje de la Óptica, del Electromagnetismo, el rol de los laboratorios en la enseñanza de la Física en los niveles básicos universitarios, la comprensión del significado físico de los distintos tipos de "constantes" en el aprendizaje significativo de la Física,... nutriéndose permanentemente con los aportes de las Teorías Psicológicas de Aprendizaje a fin de conocer cómo se interpreta al sujeto de aprendizaje, de la Epistemología e Historia de la Física a fin de clarificar cómo se interpreta la

disciplina y de nuestros propios resultados experimentales.

Este modelo considera que un sujeto aprende significativamente (Ausubel 1978, Moreira 1985) cuando reconstruye (no imita, ni descubre) y co-construye (en interacción con sus pares y guiado y orientado por el docente) significados relacionando las nuevas concepciones con los conocimientos que integran su sistema cognoscitivo.

El **modelo integrador** al que hacemos referencia trasciende los aspectos puramente conceptuales y considera que el cambio cognoscitivo entre el paradigma alternativo y el paradigma científico, implica un cambio holístico que incorpora, además de los conceptos, las metodologías, actitudes, concepciones epistemológicas, axiológicas y ontológicas.

El modelo se fundamenta en el enfoque epistemológico de Laudan (1984) quien al analizar el progreso en la construcción social del conocimiento propone un modelo reticular y sostiene que un cambio en uno de los campos del sistema cognoscitivo no implica, automáticamente, un cambio en todas las áreas que lo componen. Ello supone entonces que los cambios hay que lograrlos explícitamente, a través de acciones instruccionales específicas.

Las hipótesis formuladas y la metodología seguida en la investigación son coherentes con este modelo.

A la luz del marco teórico, ¿cómo se interpretan las "ideas previas", cuál es su importancia en la construcción de las concepciones científicas y por qué se optó por la denominación de "concepciones alternativas"?

Desde la Psicología Educativa (Pozo et al. 1991), éstas son interpretadas como:

- representaciones implícitas para prever y controlar los fenómenos,
- interpretaciones activas de significado, de gran eficiencia en la vida cotidiana y de gran persistencia y resistencia al cambio,
- modelos consensuados, compartidos y negociados colectivamente (Solomon 1987).

Desde el Aprendizaje de las Ciencias, éstas son interpretadas como:

- sistemas contruidos en base a criterios, propósitos y valoraciones que difieren de los desiderata de las ciencias y que actúan como "barreras críticas" (Driver 1988) para la com-

prensión de las ciencias,

- núcleos subsunsores de anclaje de las nuevas concepciones (Moreira 1985), puntos de partida para la construcción activa y progresiva del conocimiento y, paradójicamente, obstáculos epistemológicos (Bachelard 1972) que dificultan el aprendizaje.

Estas interpretaciones sugieren una connotación positiva para las concepciones alternativas, que valoriza al sujeto de aprendizaje como sujeto interpretativo. Al hablar de concepciones, y no sólo de conceptos, hace referencia a la estructura sustancial y sintáctica del conocimiento como partes irreductibles e inseparables del sistema cognoscitivo. Sugiere, además, una cierta organización e interacción entre los elementos del sistema cognoscitivo y es coherente con el modelo que rescata el aprendizaje como proceso dinámico de reconstrucción y co-construcción.

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

La metodología de la investigación fue diseñada procurando la complementariedad de los datos cualitativos y cuantitativos y la posibilidad de entrecruzar y triangular los resultados y conclusiones.

Se optó por un **diseño de abordaje múltiple** (Cudmani 1991, Moreira 1990) en cuanto a:

**A) los contenidos investigados.** Fueron estudiadas distintas problemáticas de la Óptica: naturaleza y propagación de la luz, formación de imágenes y sombras con orificios y obstáculos, formación de sombras coloreadas, formación de sombras con fuentes lineales parcialmente bloqueadas, formación de imágenes reales con lentes, formación de imágenes virtuales con prismas, formación de imágenes virtuales con espejos planos, formación de imágenes holográficas y procesamiento de la información óptica.

**B) las técnicas de recolección de datos utilizadas.** Se optó por técnicas que permitieran seguir paso a paso el proceso de aprendizaje y monitorear holísticamente el proceso (conceptos, modos de razonar, reglas heurísticas, valores y creencias). La técnica más utilizada fue la entrevista individual y grupal semiestructurada y, como complementaria, los mapas conceptuales y los cuestionarios escritos, estructurados con justificación de respuesta. Durante la entrevista semiestructurada el docente entrevistador

sigue los siguientes pasos (Pesa, Cudmani, Salinas, 1995):

a) describe y explica la situación experimental a la que se refiere la prueba;

b) solicita a los aprendices que de forma individual pongan por escrito lo que esperan que ocurrirá bajo dadas circunstancias (se asigna a esta etapa un tiempo limitado);

c) pide luego que, con más tiempo, justifiquen por escrito su previsión en base a sus conocimientos, con el apoyo de gráficos, cálculos, etc.;

d) efectúa el ensayo y los entrevistados confrontan los resultados experimentales 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. En la etapa (a) se presenta una situación problemática a fin de que los estudiantes vinculen sus concepciones alternativas con la realidad. La etapa (b) tiene por objeto sacar a luz las concepciones alternativas y preconceptuales. Enfrentados a la necesidad de predecir un comportamiento, los estudiantes recurren al paradigma que tienen más internalizado, sea éste preconceptual, o instruccional. En la etapa (c) el uso de herramientas racionales tales como relaciones funcionales, gráficos, etc., puede permitirles por sí mismos detectar incoherencias y contradicciones en su primer abordaje al problema.

Frecuentemente las respuestas se modifican; lo notable es que no siempre se adecuan mejor a los resultados. También se ponen de manifiesto concepciones alternativas erróneas generadas en un aprendizaje precientífico incompleto o pobremente elaborado, en ocasiones generados durante la instrucción.

La etapa (d) es de confrontación con la experiencia. En la etapa (e), la necesidad de reconciliar sus paradigmas con la realidad lleva a los estudiantes a un conflicto que, bien dosificado, se transforma en un excelente elemento motivador del cambio de paradigma (Scott et. al. 1991). Aparece un desequilibrio que no puede resolverse con las concepciones alternativas o con los patrones usuales de razonamiento.

**C) las poblaciones investigadas.** Las investigaciones fueron realizadas con tres poblaciones: 150 estudiantes de segundo año de las

carreras de Ingeniería, 10 estudiantes de segundo año de la Licenciatura en Física y 30 docentes participantes en un taller de actualización y formación de profesores.

Este diseño permitió elaborar conclusiones convergentes e interdependientes y realizar un control de la validez externa e interna de los resultados obtenidos (Moreira 1990). Se asegura así mayor grado de objetividad en las conclusiones, y mayores posibilidades de transferencia de resultados y de réplica de la experiencia por otros investigadores.

Dado que gran parte de las investigaciones se realizaron durante los cursos regulares y no sobre una muestra experimental aislada del sistema educativo, se asumió permanentemente un doble compromiso que debe destacarse de manera especial: intentar entender cómo ocurren los cambios en el sistema cognoscitivo de los alumnos durante el aprendizaje y, simultáneamente, generar las estrategias que optimicen esos procesos.

#### 4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

**Primera hipótesis.** En el campo de la Óptica, así como en otros campos de la Física, los aprendices poseen sus propios modelos alternativos:

- en general, estos modelos perduran aún después de la instrucción,
- en general, ellos suelen ser compartidos por la mayoría de los aprendices.

**Segunda hipótesis. Las concepciones alternativas** de nuestros alumnos de los ciclos básicos universitarios referidas a la naturaleza y propagación de la luz y a la formación de imágenes con espejos planos, orificios, prismas, lentes, hologramas,... **se organizan en una estructura jerárquica**, como teorías precientíficas, para predecir, explicar y controlar los fenómenos. Este es el factor fundamental que afecta su resistencia al cambio. De allí su importancia para el aprendizaje, pese a que adolecen de todas las características del conocimiento común: contradicciones, antropomorfismo, falta de rigor cuantitativo, vaguedad en las concepciones, etc.

**Tercera hipótesis.** Asociadas a esas concepciones alternativas los estudiantes emplean **modos de razonamientos precientíficos y reglas heurísticas características del sentido común no acordes con los modos científi-**

cos de conocer. Ejemplos de estos razonamientos son los siguientes: razonamiento lineal, razonamiento monoconceptual, razonamiento no-sistémico, etc.

**Cuarta hipótesis.** La persistencia y el arraigo de las concepciones alternativas parecen deberse no sólo a construcciones intuitivas elaboradas por el propio estudiante sino también a metodologías instruccionales que no fueron pensadas para producir el cambio hacia paradigmas científicos. Estas se caracterizan por: no tener en cuenta la estructura cognoscitiva previa del estudiante, estereotipar los modelos en fórmulas y recetas, no discriminan los fenómenos de la luz y la visión y, frecuentemente, reforzar las concepciones contextualmente erróneas con estrategias didácticas desacertadas.

**Quinta hipótesis.** Para favorecer el aprendizaje significativo de la temática de formación de imágenes es necesario planificar **estrategias de enseñanza-aprendizaje**, dentro de un laboratorio de investigación dirigida, que incluyan:

- identificación de las ideas previas de los alumnos,
- puesta en cuestión de las mismas mediante situaciones problemáticas

concretas,

- explicitación, toma de conciencia y reflexión, tanto de las propias ideas y los modos de razonar, como de la persistencia de los mismos,

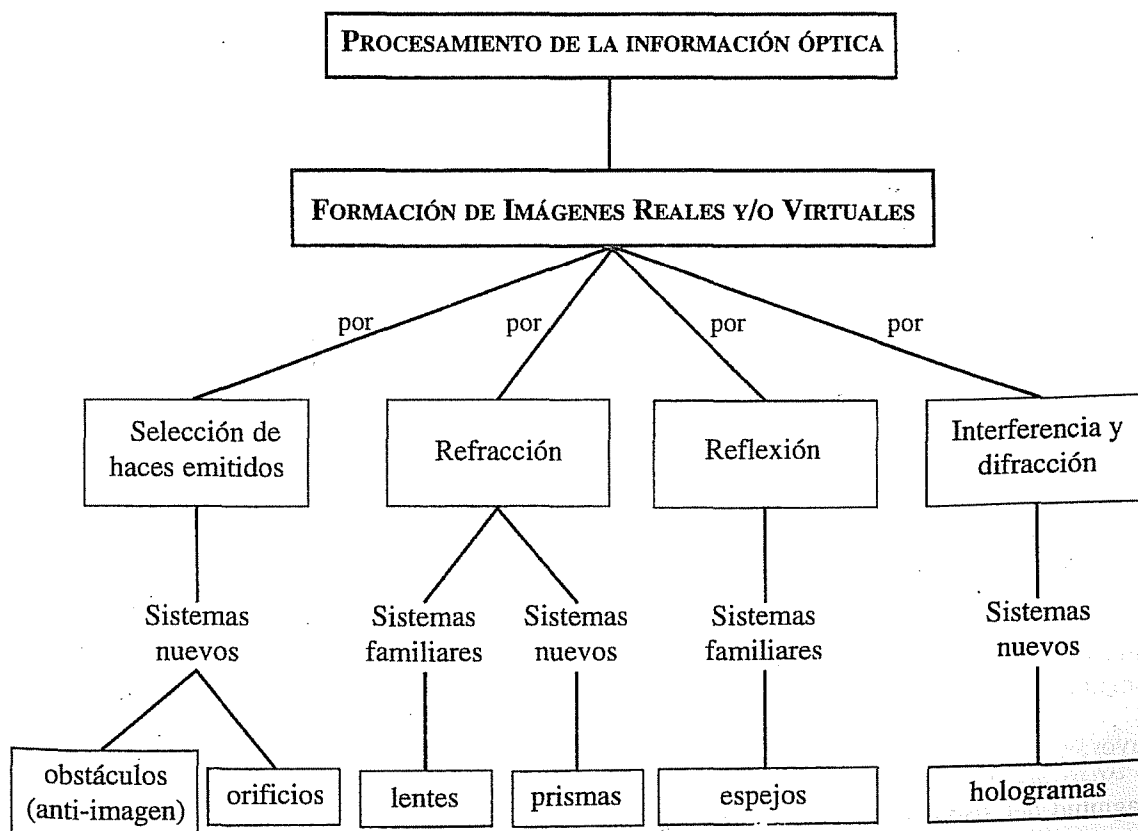
- discusiones colectivas guiadas y orientadas por el docente respecto a las características de teorías científicas que expliquen los fenómenos observados: contenido empírico, poder explicativo, capacidad para hacer predicciones,

- uso de las nuevas ideas en un amplio abanico de situaciones referidas a esta temática.

### 5. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Con el objetivo de lograr **sistematizar concepciones alternativas** referidas a la formación de imágenes las investigaciones realizadas abarcaron situaciones problemáticas referidas a diferentes sistemas formadores de imágenes y anti-imágenes (sombras) que implican, a su vez, distintos fenómenos físicos.

Esquematizamos a continuación en un mapa los sistemas ópticos empleados, discriminando cuáles eran, o no, familiares a los estudiantes.



A modo de ejemplo se seleccionaron para este trabajo, por su potencial de transferencia a todos los niveles educativos, los resultados obtenidos en sólo dos temáticas abordadas en la tesis: naturaleza y propagación de la luz y formación de imágenes con orificios y obstáculos.

### 5.1. Concepciones referidas a la naturaleza y propagación de la luz.

La investigación de esta temática fue realizada a fin de conocer las condiciones iniciales de los grupos. Para ello se utilizó un cuestionario que puede consultarse en el Apéndice 1. Los resultados aportaron datos sobre los núcleos de dificultad más compartidos por docentes y estudiantes así como indicadores para preparar los protocolos de las entrevistas y reformular las hipótesis.

Algunas cuestiones detectadas fueron las siguientes:

**a) fuerte tendencia a la aproximación cualitativa e intuitiva a los problemas planteados, a los enfoques empiristas.** Las respuestas a los problemas estaban elaboradas a partir de los estímulos sensoriales. Los razonamientos dominados por efectos perceptivos. Ejemplo de ello fue considerar obvia "la visibilidad de los haces luminosos" o no razonar en términos del comportamiento de la luz sino sobre la luz y los efectos perceptibles a través de la visión. Este comportamiento se observó en el 90% de los estudiantes y en el 60% de los docentes.

**b) a nivel ontológico,** la omisión del análisis del sistema visual durante la instrucción y la persistencia de una concepción limitada y simplista del sistema visual (como mera "pantalla receptora"), fortalece la concepción de la visión como **fuentes de conocimiento objetivo** a través de la cual puede conocerse el mundo sin perturbarlo.

**c) dificultades epistemológicas para modelizar y para discriminar el modelo teórico de la situación física real.** Este comportamiento se manifestó en el 70% de los estudiantes y en el 40% de los docentes cuando, por ejemplo:

- atribuían existencia física real a los rayos;
- interpretaban erróneamente qué magnitud del sistema físico oscilaba en el

modelo ondulatorio de la luz; o

- manifestaban serias dificultades para evaluar cuali y cuantitativamente los supuestos de los modelos.

**d) fuerte internalización de la concepción holística de la propagación luminosa** que se manifiesta a través de gráficos y esquemas y también a través del lenguaje. Más de la mitad de los aprendices suponen que la luz (emitida o reflejada) que se propaga desde un objeto lleva la información sobre la imagen, la cual se traslada como un todo en esa radiación luminosa.

**e) razonamientos característicos del conocimiento común.** Por ejemplo:

- 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;

- se manifiestan dificultades explícitas para abordar un problema en toda su complejidad;

- se dan respuestas contradictorias al abordar un problema de manera directa o inversa.

**f) reglas aproximativas de carácter intuitivo,** alejadas del análisis lógico y sistemático que caracteriza al conocimiento científico. Son las **reglas heurísticas del sentido común.** Estas introducen ciertos sesgos en los razonamientos y conducen a conclusiones formalmente incorrectas desde el punto de vista científico, aún cuando sean pragmáticamente útiles en la vida cotidiana. Ejemplo de ello serían las **reglas de accesibilidad** que, en este caso, conduce a los aprendices a afirmar que "lo que no se percibe no se concibe", o la **regla de contigüidad espacial** entre causa y efecto que supone que "cuando más próxima espacialmente una causa mayor será el efecto" a producirse. Por lo tanto, no resulta sorprendente que resulte a los aprendices sumamente complejo aceptar que un objeto de color oscuro puede iluminar a un objeto más claro que está en su vecindad. Este efecto no es perceptible.

**g) algunas conceptos centrales no coincidentes con el modo de conocer científico.** Ejemplos de ello serían los

siguientes:

- "la luz se ve". Concepción alternativa detectada en el 80% de los estudiantes y el 50 % de los docentes;

- "la luz se propaga no sólo en forma rectilínea". Concepción alternativa detectada en el 40% de los estudiantes y el 20 % de los docentes;

- "la luz se refleja sólo en forma especular". Concepción alternativa detectada en el 60% de los estudiantes y el 40 % de los docentes;

- "de cada punto de una fuente se emite un sólo rayo". Concepción alternativa detectada en el 100% de los estudiantes y el 90 % de los docentes.

**5.2. Concepciones referidas a la formación de imágenes con orificios y obstáculos.**

En las investigaciones realizadas se intentó sistematizar las dificultades de docentes y estudiantes en relación a:

1. la propagación rectilínea e isotrópica de la luz. Su rol en la formación de sombras geométricas;

2. los principios de formación de la imagen en una cámara oscura y la correspondencia entre cada punto luminoso de la fuente y un área luminosa en la pantalla difusora;

3. la equivalencia entre una imagen y una sombra cuando un orificio es reemplazado por un obstáculo de iguales dimensiones;

4. el rol de las dimensiones del sistema (por ejemplo: tamaño de la fuente, separación fuente-orificio, separación fuente-pantalla) y las características de cada uno de los elementos de estos sistemas ópticos en la formación de los patrones de intensidades. Los límites entre la sombra geométrica y el patrón de difracción.

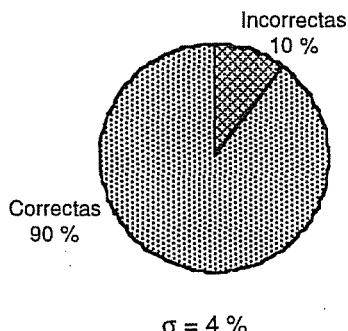
5. los criterios utilizados tanto cualitativos como cuantitativos, a fin de establecer vínculos claros y precisos entre los modelos y la realidad.

Se trabajó con entrevistas semiestructuradas, participativas, individuales y grupales. Los protocolos de las entrevistas y los sistemas experimentales utilizados pueden consultarse en los Apéndices 2 y 3. Expondremos los resultados obtenidos a continuación.

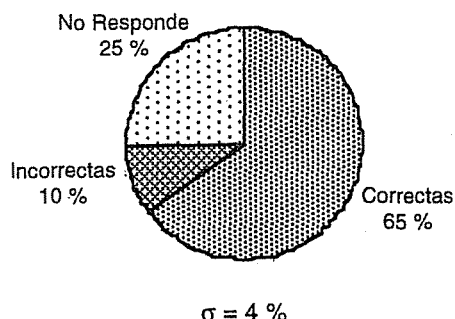
**5.2.a. Predicciones y explicaciones referidas a formación de imágenes con aberturas. (Apéndice 2, ítems: a, b, c, d, e, f).**

Los gráficos siguientes representan los porcentajes de predicciones correctas o incorrectas al variar los tamaños de la abertura del sistema óptico (ítems a, b, c).

**Respuesta Profesores ítem (a) (abertura infinita)**



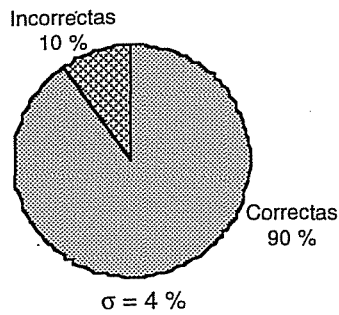
**Respuesta Estudiantes ítem (a) (abertura infinita)**



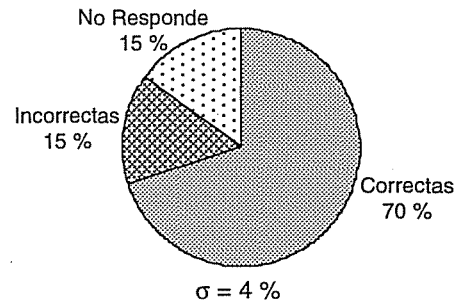
**Ejemplos de respuestas incorrectas al ítem (a):** "Se verá la pantalla iluminada donde estará el filamento porque éste tiene mayor

intensidad luminosa. Los rayos salen de esta forma (muestra un diagrama de rayos paralelos) y llegan a la pantalla".

**Respuesta Profesores  
Ítem (b) (abertura grande)**



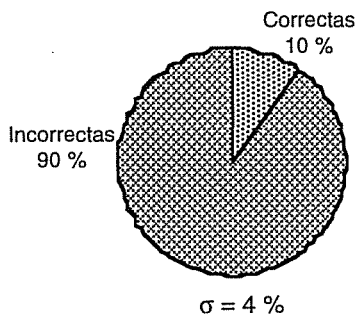
**Respuesta Estudiantes  
Ítem (b) (abertura grande)**



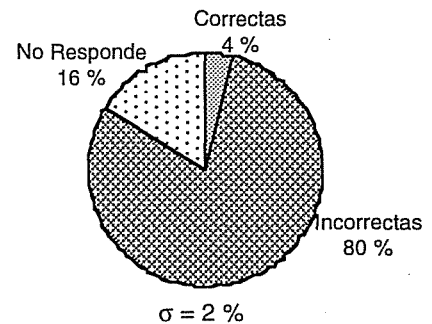
**Ejemplos de respuestas incorrectas al ítem (b):** "Observaré el filamento"; "veré el haz de

luz de igual tamaño que el orificio"; "...la sombra geométrica o tal vez el filamento".

**Respuesta Profesores  
Ítem (c) (abertura pequeña)**



**Respuesta Estudiantes  
Ítem (c) (abertura pequeña)**

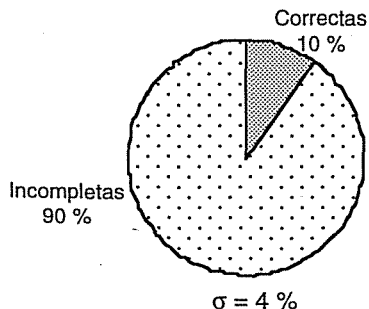


**Ejemplos de respuestas incorrectas o ambiguas al ítem (c):** "no se verá nada"; "veré una pequeña zona iluminada"; "se verá un patrón de difracción"; "la intensidad no será suficiente para ver algo..."; "sólo un punto luminoso porque el orificio sólo deja pasar un haz pequeño de luz"; "a través del orificio se verá un haz que no tendrá intensidad suficiente

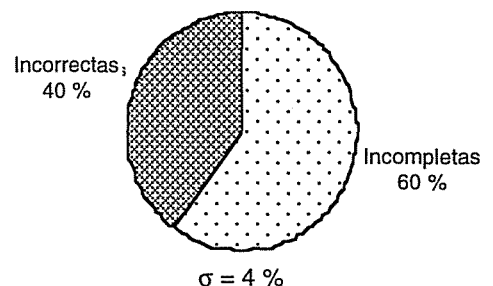
para poder observarlo en la pantalla"; "si la luz fuese coherente observaría un patrón de difracción...".

Los gráficos siguientes representan los resultados obtenidos al variar la posición de la pantalla (ítem d) y la configuración de los orificios (ítem e y f).

**Respuesta Profesores  
Ítem (d) (cambio posición pantalla)**



**Respuesta Estudiantes  
Ítem (d) (cambio posición pantalla)**

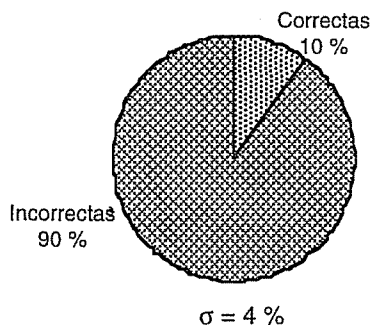


La mayoría de los aprendices dan respuestas parcialmente correctas porque, si bien predicen correctamente los cambios de intensidad y de tamaño del patrón cuando la pantalla se aleja o se acerca, mantienen la idea de que se verá un patrón circular con la forma del orificio.

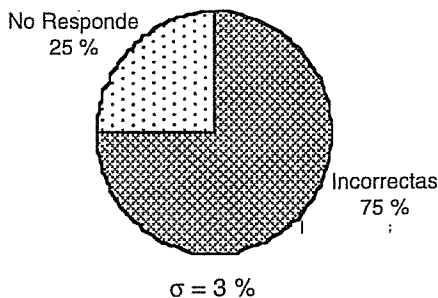
**Ejemplos de respuestas incorrectas al ítem (d):** "la imagen circular varía de tamaño" "la imagen se hace más o menos nítida". Los pocos estudiantes que predijeron una imagen con la forma del filamento señalan que "al desplazar la pantalla la imagen saldrá de foco".



**Respuesta Profesores**  
Ítem (e) (cambio posición pantalla)



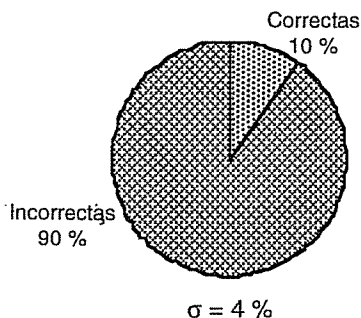
**Respuesta Estudiantes**  
Ítem (e) (cambio posición pantalla)



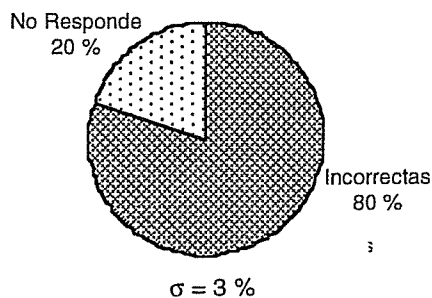
Ejemplos de respuestas incorrectas o acriticas al ítem (e): “se ven múltiples patrones de difracción”; “se ve un patrón de interferencia”;

“se observarán múltiples puntos iluminados”; “siempre se superpondrán los haces y se verá una zona circular iluminada”...

**Respuesta Profesores**  
Ítem (f) (orificio forma L)



**Respuesta Estudiantes**  
Ítem (f) (orificio forma L)



Ejemplos de respuestas incorrectas al ítem (f): “se verá la imagen en forma de L de un conjunto de puntos circulares...”; “se observarán círculos de luz con forma de L... no son imágenes... acá no hay sistema óptico...”; “se verá una L, quizás esté invertida...”

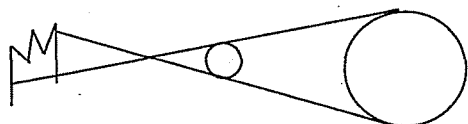
**5.2.b. Diagramas característicos referidos a formación de imágenes con aberturas.**  
(Apéndice 2 ítems a, b, c, d, e, f).

Los diagramas pueden agruparse en las siguientes categorías:

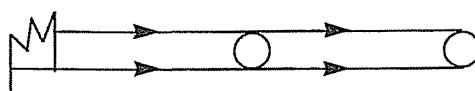
- I- Incompletos: 70%;
- II- Incorrectos: 20%;
- III- Diagramas sin marcha de rayos: 10%.

**I- Incompletos:**

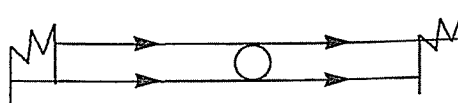
i) 1 sólo rayo emitido por cada punto de la fuente en múltiples direcciones: 40%



ii) rayos representados por líneas paralelas que abarcan el tamaño del orificio y que pasan por éste formando una imagen de igual dimensión del orificio y con la forma de la fuente o del orificio: 20%

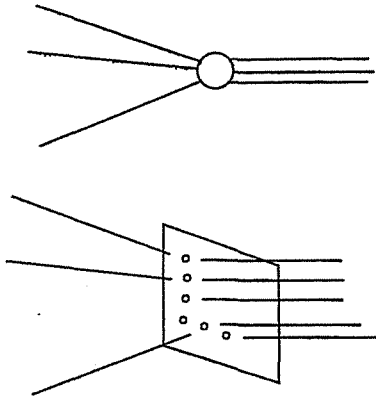


iii) 1 línea que indica sólo direccionalidad: 10%

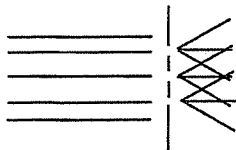


## II- Incorrectos: Rayos representados por:

i) líneas convergentes de la fuente al orificio y líneas paralelas desde los orificios a la pantalla.



ii) líneas paralelas desde la fuente a la pantalla y líneas oblicuas a la salida de los orificios.



## III- Diagramas sin marcha de rayos:

Los porcentajes indicados corresponden a diagramas realizados por estudiantes. Los profesores emplean, mayoritariamente, diagramas incompletos (del tipo I) o no realizan marcha de rayos (III).

### 5.2.c. Interpretación de los resultados referidos a la formación de sombras con aberturas.

(Apéndice 2 ítems a, b, c, d, e, f).

Señalaremos a continuación algunos aspectos, a nuestro criterio los más críticos, que aparecen en las predicciones y explicaciones incompletas y/o erróneas de los estudiantes y que dificultan el aprendizaje de las conceptualizaciones científicas:

- la mayoría de los estudiantes realiza **diagramas incompletos** para representar la emisión de radiación luminosa desde la fuente, con un solo rayo emitido desde cada punto de la misma;

- algunos estudiantes **dibujan los elementos del sistema óptico pero no construyen la marcha de los rayos**, o sólo indican con una línea la dirección de propagación de la luz;

- los **diagramas que muestran**

sólo rayos paralelos conducen a los estudiantes a predicciones erróneas respecto a los tamaños de las imágenes;

- aproximadamente un 20% de los estudiantes utiliza en algún ítem diagramas donde **no se respeta la propagación rectilínea de la luz**. Por ejemplo, se predicen haces divergentes a la salida de orificios de iguales dimensiones que la fuente, habiendo considerado la emisión sólo de rayos paralelos desde la fuente a la abertura;

- cuando se los indaga acerca de las condiciones para observar el patrón luminoso formado sobre la pantalla, ningún estudiante y, sólo el 20% de los profesores, **hace referencia a la reflexión difusa**;

- a condición de "**abertura pequeña**" actúa como clave **detonadora de la predicción de patrones de difracción**, independiente de otras condiciones que aseguren la coherencia del sistema. Este es el único supuesto al que hacen referencia tanto los docentes como los estudiantes. No utilizan, ni mencionan criterios cuantitativos y/o cualitativos para determinar si en el sistema están dadas las condiciones de coherencia para la formación de un patrón observable;

- el **patrón formado por un orificio pequeño no es interpretado como una imagen**, aún cuando tenga la forma del filamento;

- la mayoría de los aprendices considera que **la forma, o configuración de la/s abertura/s determina las características del patrón formado en la pantalla**. Por lo tanto predicen un patrón de "*manchas claras en forma de L*" si el conjunto de orificios forma una L. Cada abertura es el único elemento del sistema óptico determinante del patrón formado en la pantalla: "*la luz toma la forma del orificio*", señalan los aprendices como justificación a su predicción. Fawaz y Viennot (1985), en una investigación similar realizada con estudiantes y profesores de nivel medio, indican que éstos "*comparan el comportamiento de la luz al que sigue un pegamento o una pasta dentífrica a la salida de un tubo flexible*".

### 5.2.d. Explicaciones formuladas por los aprendices acerca de los fenómenos observados sobre formación de imágenes con aberturas.

(Apéndice 2 ítems a,b,c, d,e,f).

Una vez formuladas las justificaciones de las predicciones, los aprendices efectuaron ensayos para confrontar los resultados con sus predic-

ciones. En los casos en que no había coincidencias el entrevistador indagaba a fin de detectar modificaciones en los razonamientos alternativos.

Para los ítems a y b, el total de los aprendices llegaron a respuestas correctas, aunque no siempre a justificaciones correctas y completas. Los que inicialmente habían realizado predicciones erróneas al considerar sólo emisión paralela, modificaron los esquemas trazando rayos distribuidos radialmente desde la fuente.

Sin embargo, se mantuvieron los esquemas que presentaban un solo rayo emitido desde cada punto de la fuente. Ello provocó que en las justificaciones apareciera un nuevo núcleo de dificultad: la interpretación de la **penumbra**.

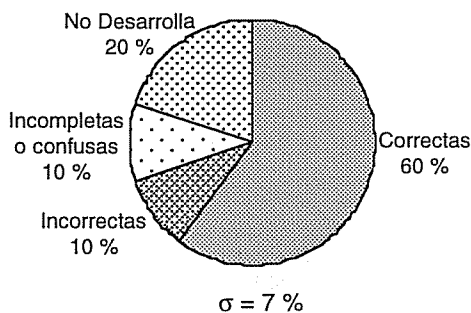
La penumbra fue interpretada como difracción y apartamiento de la luz de la propagación rectilínea. Son frecuentes respuestas del tipo: *"en la separación se producen zonas de transición porque la luz no se propaga sólo en línea*

*recta... aparece la difracción"*.

La mayoría de los aprendices se sintieron perplejos y muy interesados al observar las imágenes del filamento cuando en el sistema óptico se utilizan diafragmas con aberturas pequeñas (Ap. 2, ítems c, d, e, f). Esta fue una de las temáticas más atrapantes para los aprendices y generó en los cursos un interés especial por indagar cómo y por qué se producen este tipo de fenómenos. Recordemos que éstos eran los ítems con mayor porcentaje de respuestas erróneas.

Frecuentemente las respuestas se modificaron pero, lo notable es que no siempre esas modificaciones fueron coherentes con paradigmas científicos. Aparecen generalizaciones apresuradas, múltiples hipótesis ad-hoc, como se aprecia en los porcentajes y ejemplos de explicaciones incorrectas, incompletas o confusas a los ítems c, e y f dados a continuación.

**Respuesta Profesores**  
Explicaciones y observaciones  
Ítems (c, e, f)

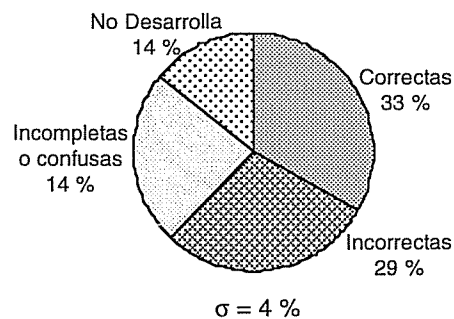


**Ejemplos de respuestas incorrectas:** *"la imagen se produce porque sólo pasan los rayos del filamento y no hay iluminación indirecta que pueda pasar por un agujero tan pequeño"; "el filamento pasa a través del orificio y emerge a la salida"; "la imagen con forma de serrucho se explica porque al pasar parte de la luz por el orificio se produce una interferencia, lo que hace que el agujerito se comporte como una lente convergente"*.

**Ejemplo de respuesta incompleta o confusa:** *"la formación de la imagen del filamento se explicaría por la trayectoria rectilínea de la luz"* (no realiza marcha de rayos) ...

**Ejemplos de comentarios realizados ante las dificultades para construir una**

**Respuesta Estudiantes**  
Explicaciones ítems (c, e, f)



**respuesta:** *"no sé explicar qué está pasando,... parece un efecto mágico..."; "no tengo idea,... realmente no me lo esperaba,... me gustaría saber qué ocurre,... no sé quién está formando la imagen,..."*.

La formulación por parte del entrevistador de otras preguntas, similares a las que se enuncian en los ítems g y h del Ap. 2, aportaron otros elementos para indagar con mayor profundidad acerca de la comprensión de los aprendices no sólo sobre cómo se forman las imágenes con aberturas, sino también sobre la **inversión de la imagen** y el rol de la **pantalla como elemento necesario para hacer posible la visión de la misma**.

Las respuestas a las preguntas formuladas

mostraron que:

- los aprendices que **interpretaban correctamente el proceso de formación de las imágenes, no tenían dificultad para construir un esquema que mostrara la marcha de los rayos y la formación de una imagen invertida**. Ello correspondía al **60% de los docentes** y al **35% de los estudiantes**. Por el contrario, los diagramas de rayos paralelos o convergentes hacia el orificio generaban inconsistencias irreconciliables con los resultados experimentales.

- la mayoría de los aprendices **admitían acríticamente como condición necesaria para la formación de la imagen el empleo de una pantalla**. Consideraban que si la pantalla no está presente, la imagen no se forma. Ninguno de ellos consideraba como fundamental el empleo de una pantalla para la *visión* de la imagen en sistemas ópticos con aberturas.

Recordemos que en este caso, se forman múltiples imágenes para una misma posición orificio-fuente pero que éstas no pueden observarse sin una pantalla difusora por no existir un flujo de radiación divergente desde cada punto imagen.

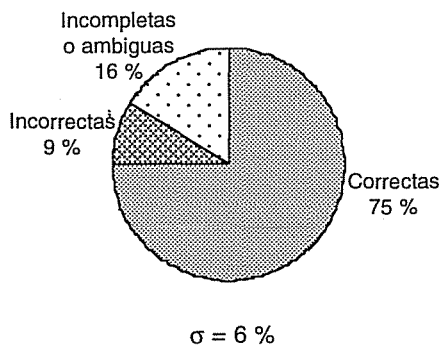
Las inconsistencias y núcleos de dificultad detectadas por los propios aprendices y también por el docente-entrevistador fueron retomadas en las síntesis grupales. Nos referiremos a ellas al finalizar la presentación de los resultados obtenidos en el conjunto de entrevistas orientadas a conocer las ideas de los aprendices sobre los sistemas formadores de imágenes con aberturas y obstáculos.

### 5.2.e. Predicciones y explicaciones de las predicciones referidas a formación de sombras. (Apéndice 3, ítems: a,b,c,d).

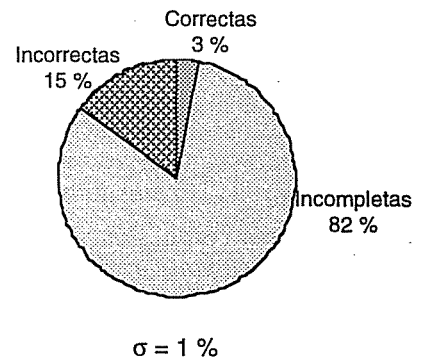
Presentaremos a continuación los resultados obtenidos durante las entrevistas correspondientes a la temática de formación de sombras con obstáculos de distintas dimensiones.

Los primeros gráficos indican las respuestas obtenidas a los ítems a y b cuando se emplean obstáculos de diferentes tamaños respecto a la fuente. Luego, se indican las respuestas obtenidas al cambiar la posición de la pantalla respecto al obstáculo pequeño (ítem c y d).

Respuesta Profesores  
Obstáculo grande (ítem a)



Respuesta Estudiantes  
Obstáculo grande (ítem a)



#### Para el ítem a:

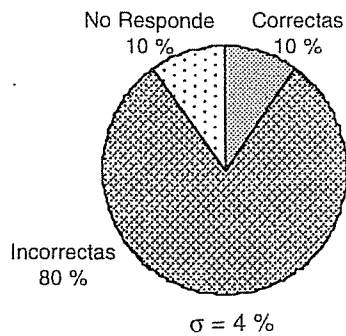
- se consideran respuestas incompletas aquéllas cuyas justificaciones se realizan mediante diagramas incompletos donde sólo se consideran uno o dos rayos emitidos por la fuente, o bien un rayo emitido desde cada punto de la fuente;

- se consideran respuestas incorrectas aquéllas cuyas justificaciones se realizan mediante rayos paralelos, en cuyo caso se predice erróneamente una sombra de igual tamaño que el objeto, o bien no se respeta la

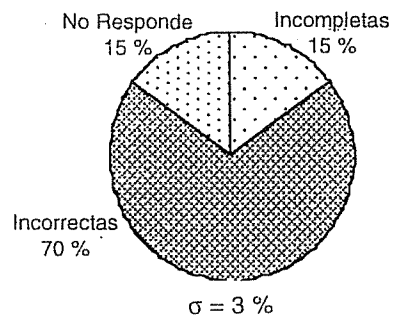
trayectoria rectilínea de la luz y se hace diverger los haces incidentes en los bordes del obstáculo. También se consideran incorrectas respuestas del tipo: "puede llegar a verse en los bordes un patrón de difracción"... "se verá la sombra del filamento"... "se verá lo mismo que sin el obstáculo menos la parte correspondiente a la proyección de la fuente"...

- sólo los profesores consideran en sus gráficos las zonas de sombra y penumbra.

**Respuesta Profesores  
Obstáculo pequeño (ítem b)**



**Respuesta Estudiantes  
Obstáculo pequeño (ítem b)**

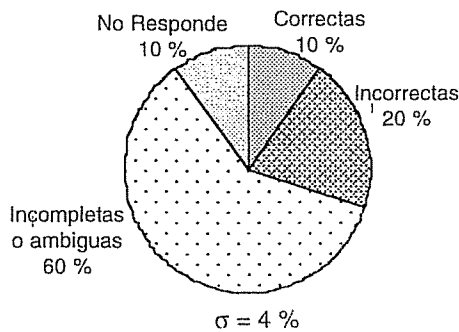


**Para el ítem b:**

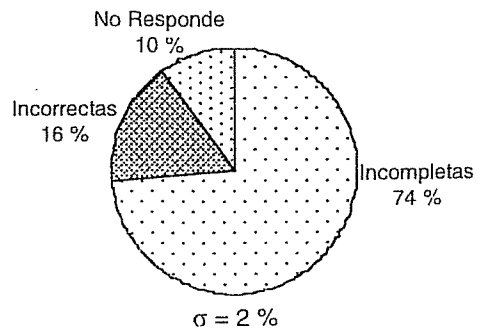
- se consideran respuestas ambiguas las del tipo: "se verá una pequeña sombra", "se verá una pequeña mancha", ... sin precisar o justificar la forma de la misma;
- ejemplos de respuestas incorrectas son: "se verá iluminación uniforme porque desaparece la sombra ya que un obstáculo mucho más chico que la fuente no

será considerable. La sombra en la pantalla no será notable", "se verá una sombra circular pequeña, porque así surge de la marcha de los rayos..."; "se verá un patrón de difracción porque el obstáculo es pequeño"; "se verá la pantalla iluminada como si no hubiera obstáculo porque éste es tan pequeño que no afecta...".

**Respuesta Profesores  
Pantalla alejada (ítem c)**



**Respuesta Estudiantes  
Pantalla alejada (ítem c)**

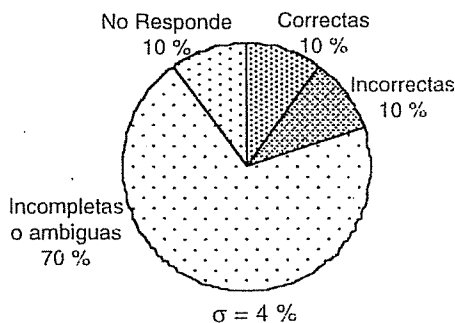


**Para el ítem c:**

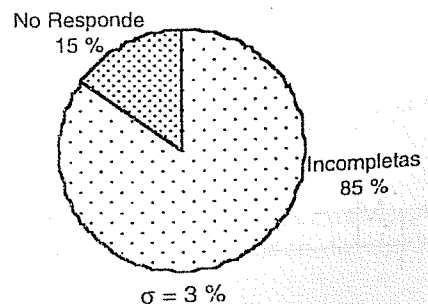
- las respuestas parcialmente correctas predicen correctamente el tamaño de la sombra, pero no así la forma de la misma;
- un 20% de las respuestas consideran sólo variaciones de nitidez al cambiar la posición de la pantalla. No hacen mención a las variaciones del tamaño de la sombra;
- las respuestas incorrectas con-

sideran, en general, que para cualquier posición de la pantalla ésta permanecerá uniformemente iluminada porque el obstáculo es pequeño. Otras, menos frecuentes, consideran que "cuanto más cerca la pantalla mayor la sombra", justificando su respuesta con diagramas similares a los del tipo III, de acuerdo a la clasificación que se ilustra en el próximo apartado.

**Respuesta Profesores  
Pantalla alejada (ítem c)**



**Respuesta Estudiantes  
Pantalla alejada (ítem c)**



**Para el ítem d:**

- Ejemplo de respuestas incorrectas: "veremos sombras sobre la imagen del filamento".

Es interesante destacar que en algunas oportunidades el entrevistador preguntó si modificar la posición de la pantalla era la única forma de agrandar o achicar la sombra. Aproximadamente el 50% de los estudiantes contestó afirmativamente. Pero, lo que mayor sorpresa causó fue la afirmación, acriticamente restrictiva, del 57% de los estudiantes cuando afirmaban que para el sistema óptico presentado esa era la única posición fuente-obstáculo, obstáculo-pantalla para la que podrían obtener una sombra del mismo tamaño de la sombra a observar: "no hay otra posibilidad,...".

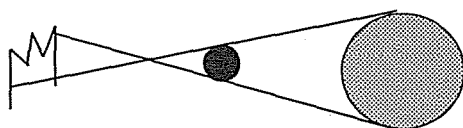
### 5.2.f. Diagramas característicos referidos a formación de sombras. (Apéndice 3, ítems: a,b,c,d).

Los diagramas pueden agruparse en las siguientes categorías:

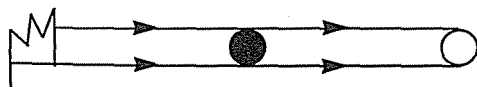
- I - Incompletos
- II - Incorrectos

**I- Incompletos:**

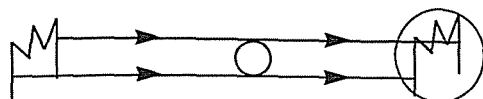
i) Cada punto de la fuente emite un sólo rayo en cualquier dirección: 65%



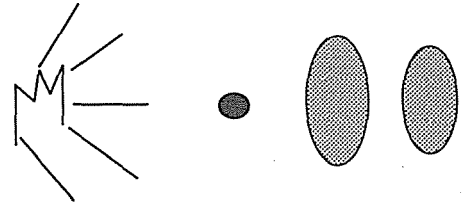
ii) rayos representados por líneas paralelas que abarcan el tamaño del obstáculo y que pasan por éste formando una imagen de igual dimensión que el obstáculo y con la forma de la fuente o del obstáculo o con forma mixta: 15%



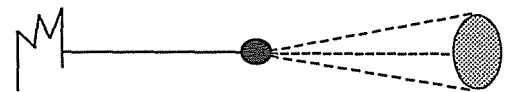
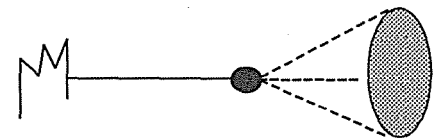
iii) Diagramas sin marcha de rayos: 10%

**II - Incorrectos:**

i) Sombras como entidades independientes de la propagación luminosa: 5%. Ejemplos: "la luz del ambiente ilumina la sombra arrojada por el objeto"; "la sombra es menor cuanto más alejada la pantalla del obstáculo".



ii) Trayectoria no rectilínea de la luz: 5%. Ejemplo: "la luz se desvía de su trayectoria rectilínea".



Los porcentajes indicados corresponden a diagramas realizados por los estudiantes. Los profesores emplean, en su mayoría, diagramas incompletos del tipo I-i y I-ii.

### 5.2.g. Interpretación de los resultados referidas a formación de sombras. (Apéndice 3, ítems: a,b,c,d).

Las explicaciones dadas por los aprendices nos permitieron identificar algunos *núcleos de dificultad* que señalaremos a continuación:

- se repiten iguales dificultades a las observadas en las predicciones y explicaciones referidas a la formación de imágenes con orificios. Este hecho fortalece la hipótesis de la existencia de núcleos estructurales generadores de las dificultades que nos propusimos identificar referido a formación de sombras con obstáculos;

- la formación de imágenes y sombras aparece como fenómenos no-vinculados, la mayoría de los estudiantes predicen la formación de sombras con la forma del obstáculo, aún cuando éste tiene dimensiones mucho menores que el tamaño de la fuente. No establecen vínculos ni conexiones con las observa-

ciones realizadas de una imagen con la forma del filamento al emplear una pantalla con orificio pequeño respecto a la fuente;

- las sombras son interpretadas por algunos aprendices como “**presencia de un elemento material**” y no como **ausencia de luz**. Son frecuentes expresiones como: “*el obstáculo arroja una sombra*”, “*el obstáculo produce y proyecta una sombra*”;

- algunos aprendices **no advierten que la forma y tamaño de la sombra depende de las características y dimensiones relativas de cada uno de los elementos del sistema óptico**. No es sorprendente, por lo tanto, que un 10 % de los estudiantes entrevistados manifiesten dificultades para predecir los tamaños de las sombras cuando se producen variaciones en las dimensiones del sistema;

- nuevamente **las sensaciones y percepciones dominan por sobre los razonamientos**: los estudiantes admiten la existencia de una sombra sólo si se considera un obstáculo de suficiente tamaño que haga perceptible la ausencia de luz.

#### 5.2.h. Explicaciones formuladas por los aprendices acerca de los fenómenos observados referidas a formación de sombras. (Apéndice 3, ítems: a,b,c,d).

En forma análoga a las entrevistas sobre formación de imágenes con orificios, los aprendices, una vez finalizadas las predicciones y explicaciones sobre formación de sombras, efectuaron los ensayos para confrontar sus ideas con los resultados experimentales. En los casos en que no había coincidencia, el entrevistador orientaba la entrevista para detectar las modificaciones en los razonamientos alternativos.

**Para el ítem a:** la totalidad de los aprendices llegaron a respuestas parcialmente correctas para explicar la formación de sombras con obstáculos de tamaños comparables a los de la fuente. Los alumnos que realizaron diagramas de rayos paralelos en las predicciones modificaron los mismos por diagramas radiales centrados en el filamento.

Los estudiantes no explicaron la formación de la **penumbra** como una zona de bloqueo parcial de la luz, sino como “*efectos de la difracción*”. Otros expresaron “*no puedo hacer un diagrama que muestre cómo se produce la zona de menor intensidad...*”. Por el contrario, la mayoría de los profesores explicaron satisfacto-

riamente la formación de la penumbra, considerando por lo menos dos rayos emitidos desde cada punto de la fuente.

**Para el ítem b:** la observación de la sombra con la forma de la fuente atrajo el interés de los aprendices. Fueron habituales frases como: “*es sorprendente... este resultado no me lo esperaba*”, “*estoy desconcertado... la cuenta se comporta como un orificio pequeño*”. Algunos estudiantes incluso procuraron cambiar la fuente por otra con diferente forma de filamento.

Otros dijeron: “*quisiera consultar la bibliografía y que luego discutamos con Ud. cómo explicar esa imagen...*”, “*son increíbles estos resultados... y, con instrumental tan simple...*”, “*esto es un verdadero desafío..., necesitaría ayuda que me orientara como encarar este asunto..., parece mágico*”.

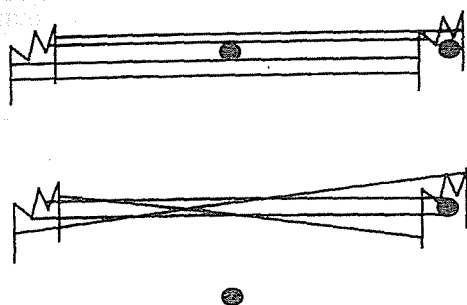
El 70% de los profesores llegó a explicaciones aproximadamente correctas: “*la cuenta parecería interceptar algunos rayos provenientes de cada punto de la fuente, es por ello que se ve la sombra con la forma del filamento*”. Sin embargo, sólo el 30% realizó diagramas para clarificar sus respuestas. Hubo más del 25% de respuestas ambiguas: “*la explicación habría que buscarla en la óptica física...*”, “*se observa que la sombra no es tan nítida...*”.

Los porcentajes de respuestas correctas de los estudiantes fueron mucho menores (aproximadamente 25%). Al no haber construido un modelo que incorpore las características de las fuentes emisoras como un conjunto de infinitos puntos que emiten luz en todas las direcciones, los estudiantes no disponían de elementos teóricos que otorguen significado al comportamiento observado. Las respuestas más comunes eran: “*no sé explicar por qué la sombra tiene la forma del filamento, me interesaría que me enseñaran por qué se forma*”.

Como en la experiencia anterior, algunos estudiantes modificaron superficialmente sus modelos agregando algunas hipótesis ad-hoc.

Así, un 15% continuó insistiendo en que la sombra de la cuenta estaba presente: “*sobre la sombra de la fuente se agrega la sombra de la cuenta, que no la percibimos porque es una cuenta muy pequeña...*”.

Diagramas típicos que ilustran estas respuestas son los que se muestran en la siguiente figura.



Para el ítem c y d: En cuanto a las explicaciones de las observaciones correspondientes a los ítems c y d, referidas a los cambios de posiciones de los elementos del sistema óptico, la mayoría de las respuestas eran correctas cuando los obstáculos colocados eran aproximadamente de igual tamaño que la fuente pero, para obstáculos pequeños se mantenían los porcentajes de respuestas incorrectas en aproximadamente iguales porcentajes a los del ítem b. Sin embargo, la simetría del filamento empleado, al que mucho de ellos reducían a una flecha al realizar las representaciones restringía, erróneamente, la inversión de la imagen a la dirección vertical, ignorando la inversión horizontal.

### 5.3. Categorías en las que se organizan las hipótesis explicativas referidas a las concepciones de los aprendices sobre formación de imágenes y sombras con orificios y obstáculos.

Como próximo paso intentaremos formular algunas **hipótesis explicativas** sobre los paradigmas que subyacen en las predicciones, interpretaciones y explicaciones de los aprendices, referidas a la formación de imágenes y sombras con orificios y obstáculos.

#### 5.3.a. Concepciones en el nivel óptico.

Los resultados de estas investigaciones permitieron formular algunas hipótesis sobre los sistemas de creencias que parecen constituir pilares a **nivel óptico** de las concepciones alternativas de nuestros aprendices. A saber:

1- *tendencia a atribuir causalidad a todos los fenómenos*. Este es un nivel donde la coherencia en el pensamiento alternativo se da con claridad: el del **compromiso ontológico con la causalidad**, que supone "que en el mundo ocurren cosas porque hay causas y efectos" (Pintó et. al. 1996). Así los estudiantes conside-

ran a la sombra como efecto directo de la acción de un objeto y a la penumbra como la adición de la luz más la oscuridad. Los alumnos razonan sobre la base de la existencia de causas y efectos para dar cuenta de los cambios observados en el mundo real. No realizan inferencias en base de procesos lógicos o legales, sino **causales**.

2- *conocimiento fundado sobre bases fenomenológicas*. Como ya lo indicamos en el capítulo anterior, al analizar las concepciones referidas a la naturaleza y propagación de la luz, **el realismo de las concepciones alternativas está estrechamente ligado a lo fenomenológico**; desde esta perspectiva es coherente que las ideas de los estudiantes estén construidas a partir de los datos significativos a los sentidos. Esta característica puede llegar a ser antagónica con el saber científico. Como lo señala Mathews (1994) el principal progreso entre la física de sentido común aristotélica y la física de Galileo y Newton fue liberar al pensamiento de la experiencia directa, sensorial: "los fenómenos directamente perceptibles y medibles son representaciones imperfectas del verdadero orden; que es sólo accesible por medio de las idealizaciones".

Estas creencias explican la fuerte tendencia de los aprendices a tratar las idealizaciones como generalizaciones empíricas y a considerar a los modelos y teorías como representaciones icónicas de la realidad.

#### 5.3.b. Modelos alternativos.

Los resultados de estas investigaciones coinciden con los encontrados por otros autores (Bowens 1987; Feher 1990, Bendall et. al. 1993). En efecto, se encuentra que la mayoría de las predicciones erróneas están fundamentadas en conceptos alternativos tales como:

1- 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. Es una idea muy **consistente**. En efecto, los aprendices la utilizan en contextos distintos referidos a distintos sistemas físicos capaces de formar imágenes o anti-imágenes. Si se compara esta concepción, con la concepción científica, podemos identificar algunas nociones que están ausentes en las concepciones alternativas de los aprendices y a la que



debemos prestar especial atención en el proceso de síntesis. La más importante es la que supone que cada punto de una fuente es un emisor en infinitas direcciones. Sin esta noción no es posible realizar una correcta interpretación de los patrones resultantes formados por una fuente lineal parcialmente cubierta y un obstáculo pequeño y, menos aún, entender casos más complejos de formación de imágenes, como veremos más adelante;

**2- una concepción asimétrica entre los mecanismos de formación de imágenes y sombras.** Los aprendices no conciben a estas últimas como ausencia de luz. Suponen a las sombras como otro tipo de imagen con existencia concreta y características similares a los objetos;

**3- concebir a las imágenes y sombras como determinadas sólo por el tamaño y la forma de los orificios y los obstáculos y no por las interrelaciones entre todas las características y dimensiones del conjunto de elementos que conforman el sistema óptico.**

Por otra parte, en las justificaciones de las preguntas sobre la formación de imágenes y sombras se perfilan tres tipos de *modelos alternativos* (Feher, Rice 1987; Pesa, Cudmani, Salinas 1995) sobre la propagación de la luz:

- *modelo fit* (o de encaje), es un modelo de ajuste. Todos los rayos emitidos por la fuente que "encajan" a través del orificio (o que son bloqueados por el obstáculo) llegan (o no) a la pantalla. La imagen será la porción que atravesó el orificio;

- *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 para explicar un comportamiento inesperado. Incorpora como hipótesis ad-hoc el estrechamiento del haz para no abandonar la idea estructural de la propagación holística de la imagen;

- *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.

Nos detendremos a continuación a analizar los modos de razonamiento que caracterizan a

estas concepciones alternativas.

### 5.3.c. Formas de razonamientos.

Señalaremos algunas características psicológicas que aparecen en las entrevistas realizadas y que constituyen patrones o esquemas internos sobre los que los aprendices construyen los modelos alternativos (Pozo 1996, Pintó et. al. 1996). Pozo señala (1991): "*nuestro pensamiento cotidiano está plagado de sesgos de dudosa racionalidad... nos guiamos más por criterios de conveniencia pragmática que de coherencia lógica*".

Asimismo, y en concordancia con lo señalado por Jung (1991) y Viennot (1990) las concepciones de sentido común no representan extrapolaciones directas de observaciones cotidianas. Ellas tienen un cierto nivel de abstracción y estructuración.

Identificaremos algunas **falacias** comunes en los **razonamientos** de los aprendices. Entendemos por razonamiento falaz "*cualquier argumento que intenta ser correcto y es psicológicamente persuasivo pero que se prueba, luego de analizarlo, que ha violado alguna regla lógica que lo torna incorrecto*" (Zeidler et. al. 1992):

1- **falacias formales**: son las que derivan su posibilidad de persuasión de su semejanza con razonamientos deductivos válidos. Una falacia común en los argumentos deductivos de nuestros estudiantes es usar los silogismos de manera equivocada **afirmando** el consecuente. Este tipo de razonamiento fue detectado cuando los estudiantes predicen la formación de patrones de difracción cuando la luz atraviesa orificios u obstáculos pequeños: "*La formación de un patrón observable de franjas claras y oscuras supone un orificio pequeño*"; "*hay un orificio pequeño, por lo tanto se formará un patrón de franjas observables*".

2- Dentro de las **falacias informales** (Zeidler et. al. 1996) encontramos:

- las **generalizaciones apresuradas**: los aprendices comenten esas falacias cuando realizan generalizaciones o extrapolaciones acríticas. Ejemplo de ello son los altos porcentajes de argumentos y predicciones equivocados utilizados por profesores y estudiantes para explicar los patrones que habrían de obtenerse utilizando fuentes lineales parciales.

mente bloqueadas y obstáculos pequeños, debido a la generalización acrítica de resultados obtenidos previamente con fuentes extendidas y obstáculos pequeños;

- *los razonamientos circulares:*

Estos razonamientos se manifestaron con mayor frecuencia entre los docentes, quienes inicialmente estuvieron menos dispuestos que los estudiantes a reestructurar sus esquemas alternativos. Así, cuando la experiencia no coincidía con sus predicciones, incluyeron los resultados que querían explicar en las premisas usadas para explicarlos. Estos razonamientos aparecieron frecuentemente para explicar la formación de las sombras coloreadas y los patrones formados con fuentes lineales;

- *razonamientos con hipótesis*

*ad-hoc:* la aparición de algunos datos contrarios a los resultados previstos por los modelos alternativos no constituyen frecuentemente evidencias para poner en duda teorías muy arraigadas y que han mostrado su eficacia en múltiples situaciones cotidianas. Frente a estas situaciones los aprendices (¡Como los científicos!) recurren a hipótesis ad-hoc para mantener sus ideas. Este es el caso cuando, sorprendidos por la observación de un patrón con la forma del filamento y no de la abertura, postulan un modelo de embudo, con rayos no paralelos, pero no abandonan el núcleo central de su teoría que supone la propagación holística de la radiación luminosa. Prefieren abandonar el concepto de propagación rectilínea de la radiación luminosa, aún no suficientemente internalizado.

Junto a las características que hemos señalado aparecen también otras formas de pensar y razonar que se apartan del modo de conocer científico. Señalaremos *los razonamientos monoconceptuales:* los estudiantes simplifican acríticamente los problemas suponiendo, a priori y sin control, que las respuestas **dependen de una sola variable**. Ejemplo de ello son el alto porcentaje de respuestas incorrectas obtenidas para el ítem d del Apéndice 3 donde se recurre a esquemas causales muy simples para explicar el tamaño y la forma de los patrones. Los sistemas ópticos son analizados no como un conjunto de elementos en interacción mutua, sino como soporte de eventos que se suceden secuencialmente. Este razonamiento es impropio para el análisis de sistemas en los que distintas variables se reajustan todas simultáneamente para obtener un nuevo equilibrio (Viennot, 1989).

Tal reducción funcional implica también no

diferenciar concepciones relacionadas. Así, se manipulan como si se tratara de un mismo concepto el color de una mezcla de pigmentos y el color producido por suma de luces. En estos casos, diversas variables son consideradas prácticamente una sola, con lo que el número efectivo de variables utilizadas es inferior al adecuado (Viennot 1985, 1990).

Referido también a la formación de sombras coloreadas, consideramos que la imposibilidad de un alto porcentaje de aprendices de no poder predecir las sombras coloreadas radica en la dificultad para considerar holísticamente al sistema, teniendo en cuenta el efecto simultáneo de las fuentes.

Estos tipos de razonamiento, en un marco piagetiano, pueden interpretarse como característicos de los esquemas alternativos del conocimiento precientífico y como contrapuesto al uso de los esquemas operatorios formales que caracterizan al conocimiento científico (Inhelder, Piaget 1955).

#### **5.4. Resultados de las síntesis grupales y de colectivo general - Etapa de diferenciación entre paradigmas y reconciliación integrativa entre ideas científicas.**

Al finalizar el proceso de las síntesis parciales, los aprendices se reunieron en los colectivos generales que abarcaba al grupo completo de una dada carrera, para enriquecer los procesos iniciados en el grupo pequeño y para que los aprendices:

- explicitaran, evaluaran y valoraran las concepciones y metodologías utilizadas al abordar los problemas;

- expusieran la diversidad de resultados y conclusiones mediante cuadros, tablas y mapas conceptuales;

- llevaran a cabo presentaciones en público para dar una idea de la diversidad de esfuerzos y significados;

- analizaran y discutieran las características de tales diversidades;

- interactuaran con la comunidad científica mediante la interacción con los docentes-entrevistadores, con los docentes auxiliares y con el material bibliográfico (Duschl 1995);

- realizaran una síntesis grupal, a través del fructífero intercambio de ideas, a fin de obtener, en lo posible, una **opinión consensuada** o, como mínimo, una reducción de la diversidad original;

- enunciaran perspectivas abiertas, aspectos a seguir estudiando y profundizando;

- aplicaran lo que se ha aprendido en un marco diferente, volviendo a analizar las tareas realizadas o analizando y discutiendo nuevas situaciones;

- reflexionaran sobre el interés de las situaciones tratadas, su importancia en la comprensión de las conceptualizaciones básicas de la Óptica, además de las cuestiones históricas y de aplicaciones tecnológicas y científicas que se relacionan con los contenidos de naturaleza y propagación de la luz y formación de imágenes con sistemas ópticos sencillos.

A fin de orientar la discusión los docentes formularon preguntas tales como:

- *¿Qué situaciones problemáticas se plantearon?*

- *¿Qué predicciones fueron realizadas?*

- *¿Cómo se elaboraron esas predicciones?*

- *¿Qué hipótesis fueron formuladas?*

- *¿Cómo las controlaron?*

- *¿Qué características tiene el (o los) marcos teórico/s con las que fueron interpretadas?*

- *¿Cuáles son las limitaciones de esos marcos teóricos?*

- *¿Qué metodología fue empleada para encarar los problemas?*

- *¿Qué ventajas tiene el marco teórico científico?*

- *¿Es inteligible?*

- *¿Es más útil?*

- *¿Es fructífero?*

- *¿Basta con la Óptica Geométrica para abordar estos problemas?...*

Un espíritu de compromiso y cooperación prevaleció en la mayoría de los grupos. Esto se puso de manifiesto en conductas individuales tales como:

- **participación activa de los aprendices en las discusiones;**

- **respeto por las opiniones y las características individuales: tiempos propios de aprendizaje, distintas metodologías de trabajo de los pares;**

- **actitud crítica y reflexiva frente a las ideas y modos de razonar de los pares y del profesor;**

- **espíritu de equipo y cooperación orientado hacia la búsqueda del consenso.**

Este proceso exigió que el profesor y los docentes colaboradores no sólo dominen la disciplina sino que también asumieran como pro-

pios los objetivos del proyecto, comprometiéndose a utilizar las ideas de los aprendices como fuente de información útil. No se trataba que "el profesor" dé "la respuesta correcta" y **dirija** el comportamiento de los aprendices por **un camino prefijado**; intentamos otro camino mucho más complejo:

- **orientar y encauzar la construcción de significados**, las ideas y las estrategias de los aprendices,

- **fomentar la reflexión crítica** sobre los mismos,

- **rescatar la importancia del trabajo colectivo** para responder a múltiples interrogantes; y, simultáneamente,

- **rescatar preguntas y cuestiones** que quedarían abiertas para nuevas reflexiones y/o lazos de aprendizaje.

En ese proceso las fuentes de información científica fueron múltiples: textos específicos de Óptica (Hecht, Zajac 1977; Landsberg 1983; Rossi 1966, Zanetic et. al. 1991; Sears 1966; Jenkins, White 1981; Crawford 1979; Bertin et. al. 1993; Smith F., Thompson 1979; Baierlein 1992; Falk et. al. 1990; Alonso, Rojo 1981; ...), textos de historia de la Física (Tatton 1971, Papp 1961,...), revistas de investigación científica (*American Journal of Physics*, *The Physics Teacher*, *Physics Today*, *Revista de Enseñanza de la Física*, *Scientific American*,...), consultas a otros compañeros, a docentes, etc.

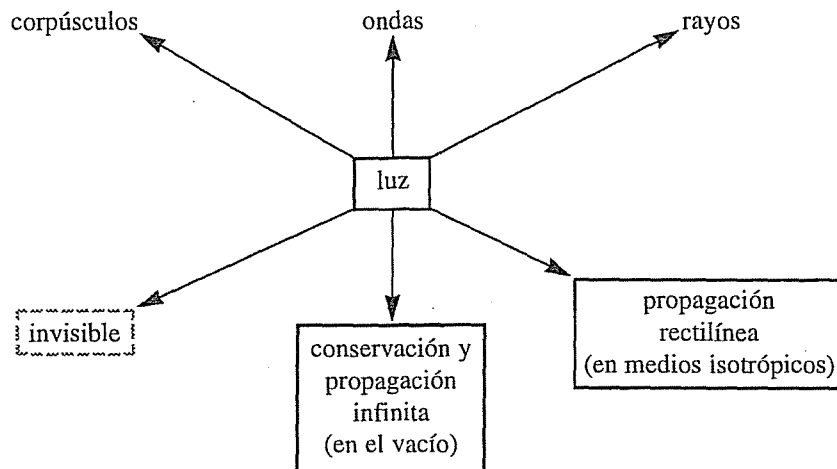
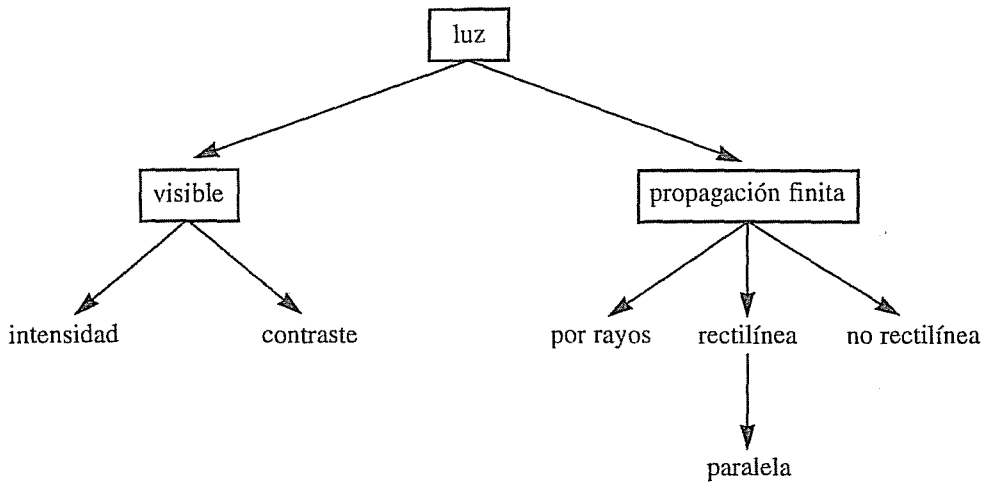
Un conjunto de lecturas optativas sobre aspectos históricos de las teorías en juego, orientadas preferentemente hacia la lectura de trabajos originales (Aristóteles, Alhazen, Newton, Huyghens,...) fueron propuestas a los aprendices interesados en estos enfoques. Ellas tenían como objetivo no sólo "*favorecer la construcción de conceptualizaciones y teorías de la Óptica sino incorporar una imagen de ciencia y del trabajo científico superadora de las concepciones previas y acríticas sobre estos temas*" (Cudmani, Pesa, Salinas 1996).

Los aspectos indicados como más críticos y consensuados por los aprendices como "*orígenes de las dificultades*" para llegar a respuestas satisfactorias a las situaciones problemáticas planteadas en esta temática específica fueron los siguientes:

1- "*nuestras respuestas respecto a la luz no son objetivas, están basadas en los sentidos*". A partir de esta idea se generó una discusión muy fructífera. Los mapas conceptuales que presentamos más adelante son dos ejemplos de

intentos de los aprendices por sintetizar esas concepciones. El primero corresponde a la visión de sus propias concepciones alternativas y el segundo a las concepciones analizadas, dis-

cutidas y elaboradas durante todo el proceso de aprendizaje y consensuados durante las discusiones colectivas sobre la **naturaleza de la luz y la propagación luminosa**.



En el segundo mapa se señala con línea de punto uno de los aspectos de mayor resistencia a su aceptación en la mayoría de los grupos de trabajo: la invisibilidad de la luz.

Los alumnos de Física manifestaron su preocupación por sus propias dificultades en estas temáticas. Coincidieron en la dificultad y complejidad que implica intentar una respuesta a preguntas tales como: *¿Qué es la luz?* y cómo son factibles distintas respuestas desde distintos marcos teóricos, válidos en distintos contextos. Esta problemática generó ricas discusiones acer-

ca del significado de los modelos en Física y sobre cómo debería interpretarse (reflexiones epistemológicas), por ejemplo, desde el modelo de rayo, la luz emitida por una fuente emisora. La reflexión sobre los aspectos epistemológicos, si bien implican cambios más profundos y quizás más lentos, fue realizada con grupos inquietos en estas cuestiones: alumnos de la Licenciatura en Física, algunos grupos de Ingeniería Eléctrica y auxiliares de docencia.

2- "No tuvimos en cuenta que tres elementos son necesarios para la visión: el objeto,

la fuente y el observador”.

3- “Se supuso erróneamente que: el ojo del observador recibe imágenes o que la visión de un objeto depende de la ubicación del observador”.

El intercambio de ideas acerca de la **visión** permitió inicialmente acuerdos parciales:

- tres elementos determinan la visión de un objeto: el objeto, la fuente y el observador. Los aprendices reconocieron que este era un tema no abordado durante la instrucción.

- algunos estudiantes mantenían la idea de que “el ojo recibe imágenes” y desconocían a la **reflexión difusa** como una condición necesaria para la visión de los objetos.

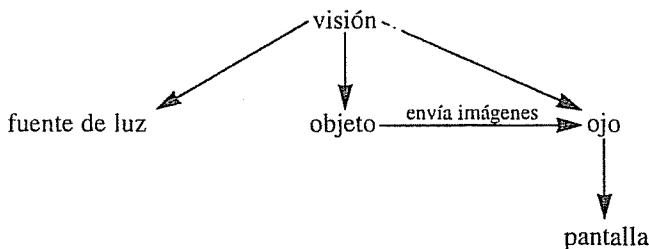
Se profundizaron entonces los aspectos más básicos con explicaciones de los coordinadores y lecturas auxiliares de los textos de Óptica antes mencionados (Gregory 1990, Falk et. al. 1990, Lozano 1978, Begbie 1969, Lindsay P.

1977, Eysenk y Keane 1991).

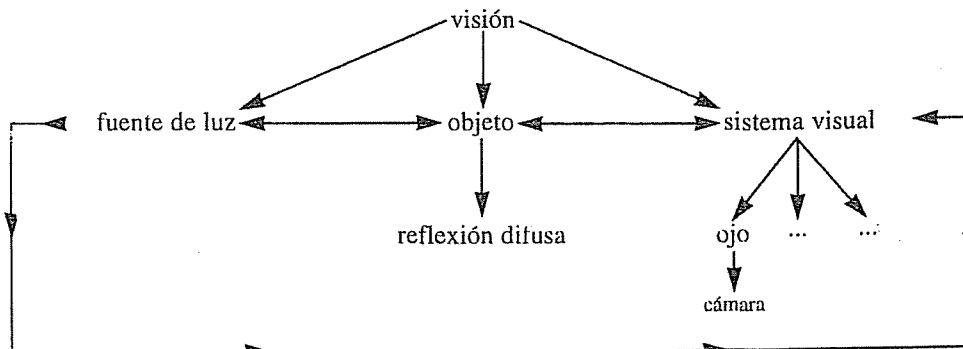
Se avanzó hasta elaborar un primer modelo del sistema visual: el estudio del ojo como instrumento similar a una cámara fotográfica. Sin embargo, los aprendices reconocieron que este modelo no les permitía más que una explicación parcial de la formación de un patrón de intensidades en la retina, pero que aún había un largo camino por recorrer para responder a la pregunta: *¿Por qué vemos como vemos?* Destacamos que esta fue una temática de mucho interés para los alumnos de la Licenciatura en Física, algunos de los cuales la eligieron como tema para la elaboración de un proyecto, requisito final para la promoción de la asignatura Laboratorio II.

Se presentan a continuación: un mapa construido por un colectivo de alumnos para representar las ideas marcadas como origen de sus núcleos de dificultad y un mapa construido por los mismos alumnos al final de las síntesis colectivas.

CONCEPCIÓN ALTERNATIVA



CONCEPCIÓN CIENTÍFICA



4- “dificultades para predecir y explicar la formación de imágenes y de anti-imágenes con orificios y obstáculos”.

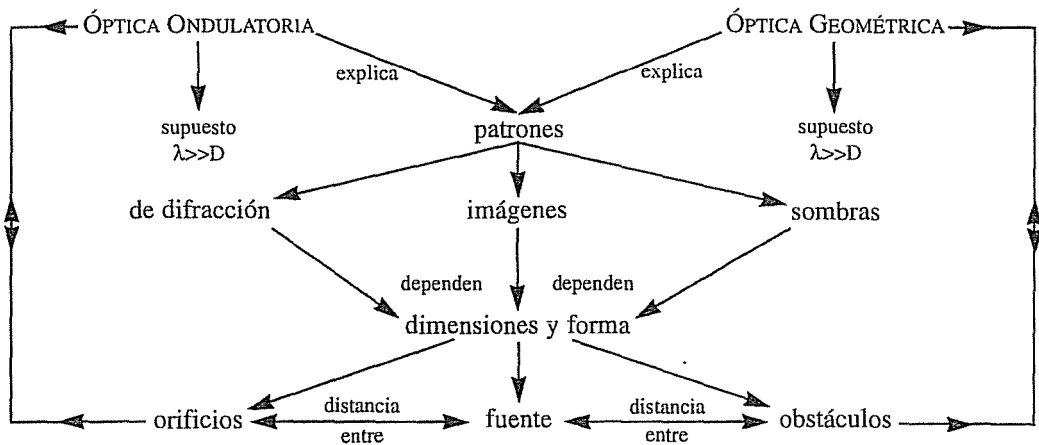
La formación de imágenes y sombras con orificios y obstáculos nuevamente atrajo la atención de los aprendices quienes paulatina-

mente comprendieron las limitaciones de su modelo alternativo. Fueron abordados algunos núcleos de dificultad que merecen destacarse:

a- los aprendices reconocieron como incompleto el modelo alternativo para explicar las características de las sombras y la geometría de las zonas iluminadas total o parcialmente. Es insuficiente atribuir la forma del patrón sólo a la forma y dimensiones del obstáculo o del orificio. En contraposición, los aprendices guiados y orientados por los coordinadores analizaron cada uno de los elementos componentes de los sistemas ópticos y sus influencias mutuas y consensuaron un cuadro donde la forma y dimensiones del patrón

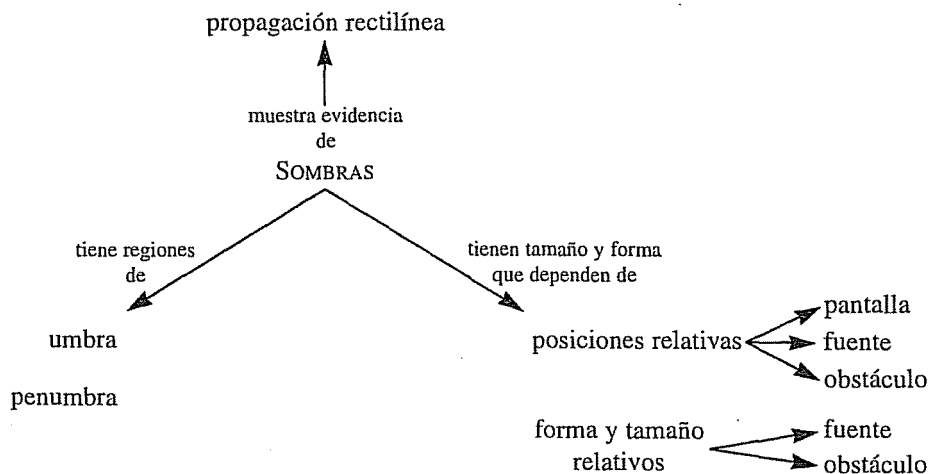
obtenido queda determinada por las características y dimensiones y por las separaciones entre los distintos elementos del sistema óptico considerado. Comprendieron que un primer modelo para explicar estos fenómenos surge de la Óptica Geométrica, a partir de la condición de **propagación rectilínea de la radiación luminosa**. Este modelo es válido siempre que las dimensiones de los objetos (D) con los cuales la luz interactúa sean mucho mayores que la longitud de onda de la radiación ( $\lambda$ ). En síntesis, es el interjuego entre múltiples variables el que determina las características del patrón a formarse en la pantalla.

El mapa conceptual de la figura resume estas conclusiones:



El mapa que se muestra a continuación fue realizado por el grupo de docentes durante la

síntesis de actividades sobre formación de sombras.



b- los coordinadores pusimos especial énfasis en analizar las fuentes luminosas y sus características de emisión. En los

talleres para docentes los aprendices reconocieron que su visión incompleta de la emisión luminosa producía predicciones inco-

rectas, incluida aquélla que les causó mayor sorpresa: "al retirar el obstáculo aparecerá en la pantalla un patrón con la forma de la fuente".

c- rescatamos como importante las síntesis realizadas por los grupos de docentes y de alumnos de la Licenciatura en Física donde los aprendices lograron la reconciliación integrativa (Ausubel 1978) de las conceptualizaciones sobre la formación de imágenes con orificios y obstáculos como aspectos **complementarios** de un mismo fenómeno (Bissonette et. al 1991).

Los docentes coordinadores incentivaron a los estudiantes a analizar otros ejemplos de la Física donde apareciera la idea de **complementariedad** tales como el principio de Babinet de la difracción o las teorías de color.

d- con los estudiantes de la Licenciatura en Física se realizó un análisis más profundo. En efecto, los estudiantes repitieron algunas pruebas con distintas fuentes (diferentes intensidades y grados de monocromaticidad) y observaron que a medida que el orificio aumentaba su diámetro (manteniendo constantes el resto de los parámetros del equipo) el patrón con la forma del filamento comenzaba a borronearse. Este fenómeno podía explicarse desde la Óptica geométrica.

De igual manera, y empleando fuentes suficientemente intensas y monocromáticas, el patrón se borroneaba al disminuir las dimensiones del orificio. Este borroneo sólo puede explicarse desde la Óptica Ondulatoria o desde la Óptica Electromagnética. Surgieron entonces preguntas tales como:

5- *¿Cuál es el tamaño óptimo que debería tener una "cámara oscura" de longitud  $L$  para que funcione correctamente, es decir se evite el borroneo por efectos difractivos?*

La consulta bibliográfica (Cudmani, Pesa, et.al 1990; Crawford 1979; Hecht, Zajac 1977; Landsberg 1983;...) les permitió establecer criterios cuantitativos para la selección de los orificios en función del conjunto de los parámetros del sistema.

Los estudiantes llegan a establecer que para construir una cámara oscura de aproximadamente 1/3 m de longitud, la dimensión óptima para el orificio será de 2 a 3 mm.

6- *¿Puede considerarse como "imágenes" los patrones obtenidos con orificios*

*pequeños y fuentes extensas?*

Algunos aprendices discutieron esta cuestión y concluyeron que no hay una respuesta correcta a esta pregunta.

En efecto, las consultas bibliográficas a los textos de Óptica universitaria básica (por ejemplo Rossi, 1966) y a sus notas de clases teóricas sobre esta temática, les permitió consensuar una definición de imagen a partir del Principio de Fermat.

A partir de esta definición los aprendices discriminaron dos condiciones básicas que se cumplen en la formación de las imágenes:

- i) la **correspondencia** entre los puntos objetos y los puntos imágenes,
- ii) la **localización** de la imagen en una posición **única** para cada posición del objeto.

Esta última condición no se cumple para el caso de la formación de imágenes y anti-imágenes con orificios y obstáculos. Para múltiples posiciones del orificio o del obstáculo aparece una "imagen" invertida y definida del filamento objeto.

Revisando la bibliografía sugerida por los docentes los aprendices encuentran que algunos autores (Goldberg et. al. 1991) consideran que la imagen formada con un orificio pequeño no representa una imagen real sino una **reproducción invertida de la fuente**.

Una discusión más profunda comparativa entre este tipo de imágenes y las imágenes formadas con lentes convergentes fue encarada al finalizar las entrevistas sobre formación de imágenes con elementos refractantes. Estos aspectos serán presentados más adelante.

7- *¿Qué entendemos por color? ¿Qué color tienen las sombras? ¿y las penumbras? ¿Por qué la luz natural (o luz blanca) puede descomponerse en luces de colores y reconstruirse cuando se suman luces de diferentes longitudes de onda y, en cambio, cuando se mezclan pinturas con esos colores, el resultado no es blanco sino marrón?*

A partir de estos interrogantes que surgieron durante las discusiones grupales y del colectivo general los docentes coordinadores propusieron cuestiones que, excediendo el campo de la experiencia inmediata de los aprendices, completaran el marco general de interrogantes.

Por ejemplo: *¿Será el color una característica del objeto? ¿de la radiación luminosa con que se ilumina el mismo? ¿del observador?*

La riqueza de este tema con sus aspectos físicos, biológicos y psicológicos, permitió la propuesta de múltiples experiencias sencillas a los aprendices motivados por esta temática.

Estas experiencias permitieron simultáneamente mostrar que *"el tratamiento puramente físico, al igual que otros tratamientos dentro de disciplinas especializadas, necesariamente recorta el problema, selecciona determinadas variables, privilegia algunos aspectos y conduce a un conocimiento que puede ser preciso, profundo y claro en su ámbito, pero que sin duda es parcial..."* (Sandoval, Salinas 1996).

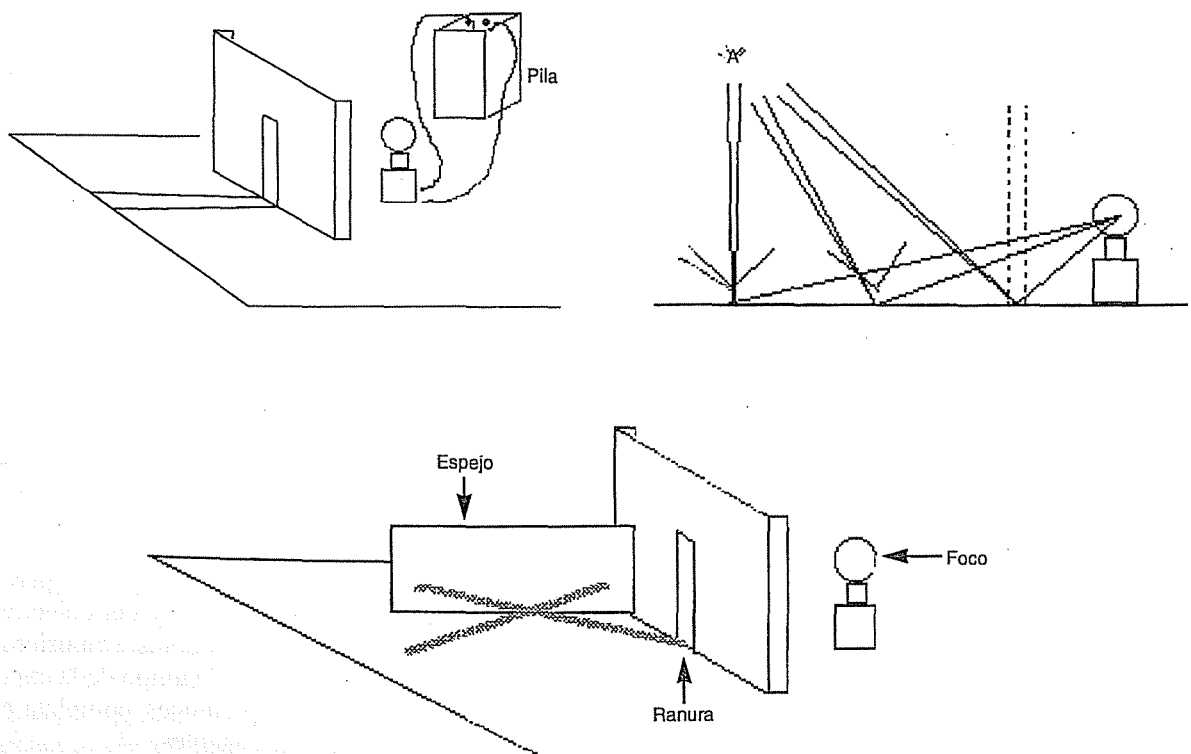
Mencionamos las siguientes:

- experiencias que evidencian cómo la sensación de color depende de los colores que rodean al objeto (Lozano 1978)
- experiencias que muestran que la característica física propia del objeto no es su color sino su reflectancia espectral (Lozano 1984)
- experiencias que permiten cuantificar la suma de colores y verificar las leyes de Grassmann de la colorimetría (Falk et al 1990)

### 5.5. De cómo los aprendices reconocieron que las concepciones alternativas son resistentes al cambio.

A fin de mostrar que, aún cuando existe un esfuerzo y un interés consciente de los estudiantes en sus propios aprendizajes, el camino de superación de las concepciones alternativas es lento, complejo, con múltiples retrocesos y requiere tiempo de maduración así como un cierto grado de familiarización con las concepciones científicas, el profesor-coordinador de cada colectivo general propuso una actividad colectiva que mostrara la resistencia al cambio de las concepciones alternativas. Planteamos entonces colectivamente una nueva situación problemática que hacía referencia sólo a conceptos conocidos y discutidos referidos a las conceptualizaciones de naturaleza y propagación de la luz y reflexión especular y difusa (Kaminski 1991).

La próxima figura muestra el equipo experimental utilizado. Se colocó sobre una hoja blanca una pequeña bombita de luz, delante de la misma se ubicó un cartón opaco al que se le había practicado una pequeña ranura vertical como muestra la figura. Se observó entonces una línea recta iluminada sobre el papel. El coordinador formuló entonces la pregunta: *¿Cómo se forma el trazo brillante sobre el papel blanco?*





El 100% de los estudiantes interpretaron erróneamente al trazo brillante considerándolo como un haz luminoso que se propaga en línea recta y no como los puntos donde se refleja de manera difusa la luz que se propaga en línea recta en el espacio entre la fuente y la hoja blanca.

Al colocar un espejo como indica la última figura se observaron un conjunto de trazos con forma de cruz. En este caso los trazos frente al espejo son interpretados erróneamente como la trayectoria rectilínea de la luz incidente y reflejada frente al espejo. Los trazos detrás del espejo son interpretados como los reflejos de los mismos.

La intervención del docente coordinador mostró paso a paso a los aprendices cómo sus propias respuestas estuvieron estructuradas en base a los fenómenos visualizados sin tener en cuenta el marco teórico de la Óptica Geométrica.

En efecto, desde el contexto científico, los trazos luminosos adquieren una interpretación muy diferente. La luz del primer trazo formada por la luz incidente en su trayectoria rectilínea desde la fuente al papel es reflejada de manera difusa y en todas las direcciones, tanto hacia los ojos del observador como hacia el espejo. Por lo tanto, cada punto iluminado de la hoja, constituirá un punto objeto luminoso que tendrá su punto imagen del otro lado del espejo.

Por otra parte, la luz de la fuente que incide directamente sobre el espejo se refleja y "cae" sobre la hoja que la refleja de manera difusa en todas las direcciones, incluido el ojo del observador, formándose así, punto a punto, un trazo luminoso "reflejado".

Este ejemplo se constituye entonces en una buena oportunidad para que estudiantes y docentes reflexionen sobre el alto grado de resistencia de las concepciones alternativas.

## 6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS ABIERTAS.

Este trabajo se ha focalizado en una problemática de la Educación en la Física que ha recibido una creciente atención en las últimas décadas: la investigación de las concepciones alternativas y su rol en el proceso de enseñanza-aprendizaje del saber científico y en la propuesta de formas metodológicas y estrategias para superarlas.

Nuestra meta fue buscar una estructura interna en esas concepciones, superando los trabajos meramente descriptivos y establecer algunas generalizaciones sobre la forma en que surgen, cómo se organizan y cómo interfieren en el aprendizaje.

A fin de evaluar su persistencia, aún después de la instrucción, el estudio fue ampliado a grupos de docentes de nivel medio y terciario y auxiliares de la docencia universitaria que participaron en un taller de actualización y formación de profesores. Estos estudios permitieron también detectar algunas situaciones en las que la instrucción, tanto a través de textos o trabajos de laboratorio, puede contribuir a afianzar las concepciones alternativas en vez de superarlas.

Por razones de extensión de este trabajo no pueden exponerse el total de las investigaciones realizadas para la contrastación de las hipótesis a las que hacen referencia las conclusiones que se enuncian a continuación.

**Hipótesis 1.** Esta hipótesis fue **ampliamente convalidada**. Estudiantes universitarios y docentes de nivel medio, terciario y universitario básico utilizan, frente a situaciones problemáticas, modelos alternativos que contradicen los modelos y modos de conocer del saber científico referido a la naturaleza y propagación de la luz y a la formación de imágenes con sistemas ópticos sencillos.

**El núcleo central de las concepciones alternativas pareciera ser, tanto para la mayoría de los estudiantes como para un alto porcentaje de los docentes, el modelo holístico de la propagación de la imagen fundamentado en una visión fenomenológica de la realidad, fuertemente anclada en las sensaciones perceptivas.** Este modelo aparece como una estructura implícita, de gran coherencia y consistencia, que los aprendices no están dispuestos a modificar. Asociado a este modelo se manifiestan también algunas ideas estructurales tales como:

- la luz se ve,
- la luz se propaga no sólo en forma rectilínea en medios homogéneos,
- la luz se refleja sólo en forma especular,
- los sistemas ópticos forman imágenes completas de objetos completos,
- los sistemas ópticos forman imágenes idénticas a los objetos sin pérdida de información,
- de cada punto de un objeto luminoso o

iluminado se emite un solo rayo de luz,...

Algunas de estas ideas están ancladas en:

a- concepciones epistemológicas fuertemente arraigadas tales como: las dificultades para discriminar los modelos físicos de la realidad,

b- en concepciones a nivel óptico que suponen a los sentidos como fuente de conocimiento objetivo, a través de los cuales puede conocerse el mundo sin perturbarlo,

c- la tendencia a atribuir causalidad a todos los fenómenos, o la concepción materialista de la luz que atribuye efectos materiales a la oscilación de los campos interactuantes del modelo electromagnético de la luz,...

**Hipótesis 2.** El control experimental de esta hipótesis ha conducido a **resultados coherentes entre sí que convalidan esta hipótesis**, tanto con estudiantes como con docentes. En efecto, la interpretación de los resultados en las distintas temáticas analizadas a la luz del marco teórico de referencia, reveló evidencias suficientes de que las concepciones alternativas en esta temática no constituyen un conjunto de ideas inconexas, sino una estructura jerárquica implícita donde puede identificarse una concepción del mundo, criterios comunes de contrastación y validación del conocimiento, reglas heurísticas y modos de razonar característicos, núcleos y conceptos centrales de gran persistencia y resistencia al cambio.

En la categorización de las hipótesis explicativas referidas a las concepciones de los aprendices sobre la naturaleza y propagación de la luz y la formación de imágenes y sombras con orificios y obstáculos, la formación de imágenes reales y virtuales con espejos, prismas, lentes y hologramas y el procesamiento de la información visual subyacen:

- los núcleos estructurales más firmes del modelo,
- las concepciones a nivel óptico y epistemológico que las sustentan,
- los modos de razonamiento característicos y
- los conceptos centrales.

También se identifican algunos modelos específicos para cada temática. Por ejemplo: 1) los modelos de "encaje", 2) los modelos de "embudo" y 3) los modelos de "disparador", para la formación de sombras. Estos modelos

conservan el núcleo central de las concepciones alternativas y constituyen hipótesis explicativas más puntuales, que los aprendices construyen para salvar las incoherencias entre las predicciones y los resultados experimentales.

**Hipótesis 3.** El control experimental de esta hipótesis ha conducido a resultados que también **convalidan esta hipótesis**. En concordancia con investigaciones que hemos realizado en otras temáticas, la naturaleza representacional de las concepciones de los aprendices depende, en parte, de los procesos mediante los cuales se han construido. La metodología utilizada por los aprendices para encarar la solución a los problemas está caracterizada por reglas aproximativas de poco rigor lógico, que buscan la conveniencia pragmática más que la coherencia teórica. Son los razonamientos naturales y las herramientas heurísticas del sentido común. Ellos se repiten en los distintos contextos analizados, son estables y parecen estar bien estructurados, conduciendo a errores graves y sistemáticos.

Estos modos de razonamiento han sido clasificados y ejemplificados. Identificamos:

- algunas falacias formales (uso equivocado de silogismos)
- algunas falacias informales (generalizaciones apresuradas, razonamientos circulares, razonamientos con hipótesis ad-hoc) en los razonamientos detectados.

Aparecen también, sistemáticamente, otras formas de razonar que se apartan de los modos científicos de conocer, tales como los razonamientos monoconceptuales, causales lineales, inconsistentes, puramente algorítmico, antropocéntricos y perceptuales y principios heurísticos que convierten las tareas complejas de evaluar la formación de imágenes en operaciones más simples pero sesgadas.

**Hipótesis 4.** Los resultados experimentales obtenidos en las temáticas analizadas **apoyan la hipótesis** de que la instrucción tradicional no logra desarticular las concepciones alternativas referidas a la formación de imágenes. Se genera entonces una estructura híbrida, mezcla de conocimiento científico y concepciones alternativas preinstruccionales, que mantiene intacto el núcleo central de éstas últimas.

Los modelos explicativos y los diagramas construidos para clarificar sus predicciones mantienen el núcleo fundamental del modelo precientífico y sólo anexan como hipótesis ad-hoc algunos elementos de los modelos cien-

tíficos de la Óptica Física y Geométrica. Estos pueden detectarse con mayor frecuencia en las temáticas de formación de imágenes con prismas, espejos, lentes y hologramas. Podemos describirlos como un estado intermedio, **hibridización de conocimiento preinstruccional y conocimiento formal**.

La validez de esta hipótesis se ve reforzada tanto por las características de las concepciones alternativas detectadas en los docentes, donde se pone de manifiesto una serie de situaciones instruccionales que muestran cómo los docentes, no conscientes de las concepciones alternativas de los alumnos, ni de cómo ellos interpretan los sistemas ópticos sobre la base de sus ideas previas, contribuimos involuntariamente a su reforzamiento.

**Hipótesis 5.** La quinta hipótesis fue **convallidada parcialmente**. En efecto, se detectaron cualitativamente en las síntesis colectivas indicadores de aprendizaje significativo y también la eficacia de la metodología empleada en la investigación como estrategia efectiva de cambio cognoscitivo. Sin embargo, consideramos importante continuar las investigaciones realizando ensayos comparativos con un grupo control y otro experimental, de manera de contrastar de manera más rigurosa la propuesta presentada. Este es un aspecto que queda abierto a futuras investigaciones.

Múltiples líneas de investigación, además de la antes mencionada, han quedado abiertas a partir de este trabajo. Entre las más importantes destacamos algunas temáticas específicas que ya han sido iniciadas:

- detección de las concepciones asociadas a los fenómenos ondulatorios a partir de los núcleos de dificultad presentes en la interpretación de la naturaleza ondulatoria de la luz. Propuestas instruccionales superadoras;

- diseño y control experimental de una propuesta de enseñanza-aprendizaje de la polarización luminosa fundamentada en los resultados de las investigaciones educativas realizadas en Óptica Física y Geométrica;

- estudio de los factores que determinan el origen de las dificultades de los alumnos para la construcción de esquemas gráficos. Propuestas instruccionales superadoras.

En síntesis, creemos que el campo de las investigaciones educativas en ciencias, especial-

mente las múltiples investigaciones actuales que abordan el aprendizaje de los estudiantes en el aula, está mostrando que hay diferencias significativas entre lo que los profesores pretendemos enseñar y lo que aprenden nuestros alumnos. Sin embargo, este hecho no debe sumirnos en una actitud derrotista y desesperanzada. Las investigaciones realizadas también están generando criterios, con sólidas bases científicas interdisciplinarias, para superar los obstáculos.

En ese sentido, el conocimiento generado a través de investigaciones sobre concepciones alternativas, de que los estudiantes traen a clase concepciones sistemáticas y estructuradas, con una lógica y una metodología definida, como fruto de sus intentos por dar significado a las actividades cotidianas, pero diferentes de la lógica y las estructuras científicas, nos aportan valiosas pistas para formular propuestas con bases más científicas y eficientes, orientadas hacia un real aprendizaje significativo de nuestra disciplina.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ALONSO M., ROJO O., 1981, Campos y Ondas, Ed. Fondo Educativo Interamericano, México.

ANDERSSON B., KARRQVIST C., 1983, How Swedish pupils, age 12-15 understand light and its properties, European Journal of Science Education, Vol 5 (4).

ANDERSSON B., SMITH E., 1986, Children's conceptions of light and color: understanding the meaning of unseen rays, Research Series N° 166, Pub. by the Inst. of Research on Teaching, Michigan State University, USA.

AUSUBEL D., 1978, Psicología educativa, un punto de vista cognoscitivo - Ed. Trillas, México.

BACHELARD G., 1972, La formación del espíritu científico, Ed. Siglo XXI - Buenos Aires.

BAIERLEIN R., 1992, Newton to Einstein, the trail of light, Cambridge University Press, Great Britain.

BEGBIE H., 1969, La visión y el ojo. Una introducción a la percepción visual, Ed. Univ. de Buenos Aires, Argentina.

BENDAL S., GOLDBERG F., GALILI F., 1993,

Prospective elementary teachers' prior knowledge about light, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol 30 (9).

BERTIN M., FAROUX J., RENAULT J., 1993, *Optica física y ondulatoria*, Ed. Paraninfo, España.

BISSONNETTE D., ROCHON P., SOMERS P., 1991, The complementary pinhole camera, *The Physics Teacher*, april.

BOWENS R., 1987, Misconceptions among pupils regarding geometrical optics, *Proc. of the Int. Seminar on Misconceptions*, Cornell University, Ithaca, New York. 1969.

CRAWFORD F., 1979, *Ondas - Berkeley Physics Course*, Vol 3, Ed. Reverté, Buenos Aires. Winston, London.

CUDMANI L. C. DE, 1991, La génesis de los problemas y la transferencia de los resultados de la investigación educativa en Física, *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias - Tomo 60*, Córdoba, Argentina.

CUDMANI L. C. DE, PESA M., SALINAS J., 1997, Modelo integrador para el aprendizaje de las ciencias. Enviado a publicación.

CUDMANI L. C. DE, PESA M., SALINAS J., 1996, Proyecto de un curso de Optica para carreras de profesores de física dentro del marco del proyecto PUFFAL, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol 18 (1).

CUDMANI L. C. DE, PESA M. y otros, 1990, *Optica física básica estructurada alrededor del concepto de coherencia luminosa*, Imprenta de la Univ. Nac. de Tuc., Tucumán, Argentina.

DRIVER R., 1988, Un enfoque constructivista para el desarrollo del curriculum en ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 6, (2).

DUSCHL R., 1995, Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol 13 (1).

DYKSTRA D., BOYLE C., MONARCH I., 1992, Studying conceptual change in learning physics, *Science Education*, Vol 76 (6).

EYSENCK M., KEANE M., 1991, *Cognitive psychology*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub., London.

FALK D., BRILL D. STORK D., 1990, *Seeing the*

*light*, Harper and Row Pub., New York

FAWAZ A., VIENNOT L., 1985, Image optique et vision, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, No 686.

FEHER E., 1990, Interactive museum exhibits as tools for learning: explorations with light, *International Journal of Science Educational*, Vol 12 (1).

FEHER E., RICE K., 1987, Shadows and anti-images: children's conceptions of light and vision II, *Science Education*, Vol 72 (5).

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

GOLDBERG F., BENDALL S., GALILI I., 1991, Lenses, Pinholes, Screens and the eye, *The Physics Teacher*, april.

GREGORY R. L., 1990, *Eye and brain - The Psychology of seeing*, Fourth edition, Weidenfeldand Nicoloson Ed., London.

GUESNE E., 1984, Children's ideas about light: les conceptions des enfants sur la lumière, *New Trends in Physics Teaching*, Vol 24 (8).

HECHT E., ZAJAC A., 1977, *Optica*, Fondo Educativo Interamericano, México.

INHELDER B., PIAGET J., 1955, *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*, Ed. Paidós, España.

JENKINS F., WHITE H., 1981, *Fundamentals of Optics*, Mc Graw Hill Co., USA.

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

KAMINSKI W. 1991, Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, No 716, France.

KAMINSKI W., 1991, *Optique élémentaire en classe de quatrième: raisons et impact sur les maitres d'une maquette d'enseignement*, Thèse de doctorat, Laboratoire de Didactique de la Physique dans l'Enseignement Supérieur, Université Paris 7, France.

LAKATOS I., 1983, *La metodología de los programas de investigación científica*, Ed. Alianza - Madrid.

- LANDSBERG G., 1983, *Óptica I y II*, Ed. Mir, Moscú.
- LAUDAN L., 1984, *Science and values the aims of science and their role in scientific debate*, Berkeley Univ. of California Press, USA.
- LINDSAY P., NORMAN D., 1977, *Information processing. An introduction to psychology*, Academic Press, London.
- LOZANO R., 1978, *El color y su medición*, Ed. Américalee, Buenos Aires.
- LOZANO R., 1984, *¿El color entre físico, síquico o psicofísico?*, *Color y Textura*, N° 17 y 18. Págs. 12-15 y 12-14.
- MATTHEWS M. R., 1990, *History, philosophy and science teaching: a rapprochement*, *Studies in Science Education*, Vol 18, Pag. 25-51.
- MELLO ALVES V., 1990, *Questionário sobre luz, cor e visão. Trabajo inédito realizado en el Inst.de Física de la UFRGS, Brasil*
- MOREIRA M. A., 1985, *Aprendizagem: perspectivas teóricas*, Ed. da Universidade, UFRGS, Brasil
- MOREIRA M. A., 1990, *Pesquisa em ensino aspectos metodológicos e referenciais teóricos*, Ed. Ped. Universitaria - Sao Paulo, Brasil.
- PAPP D., 1961, *Historia de la Física*, Ed. Espasa Calpe, Madrid.
- PESA M., CUDMANI L. C. de, BRAVO S., 1996, *Formas de razonamientos asociadas a los sistemas preconceptuales sobre naturaleza y propagación de la luz*, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Vol 12 (1).
- PESA M., CUDMANI L. C. de, SALINAS J., 1995, *Transferencia de los resultados de la investigación educativa al aprendizaje de la óptica*, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 17(3).
- PINTO R., ALIBERAS J., GOMEZ R., 1996, *Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas*, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol 14 (2).
- POZO J., 1996, *Psicología de la comprensión y el aprendizaje de las Ciencias - Curso de actualización científica y didáctica*, Publicación del Ministerio de Educación y Ciencia de España.
- POZO J., SANZ A., GOMEZ CRESPO M., LIMON M., 1991, *Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva*, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol 9 (1).
- REINER M., 1991, *Patterns of thought on light and underlying commitments*, *Procc. of the Int. Workshop*, University of Bremen - Germany.
- RICE K., FEHER E., 1987, *Pinholes and images: children's conceptions of light and vision I*, *Science Education*, Vol 71 (4).
- ROSSI B., 1966, *Fundamentos de Optica*, Ed.Reverté, Buenos Aires.
- SALINAS J., CUDMANI L. C. DE, PESA M., 1996, *Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento científico*, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol 14 (2).
- SANDOVAL J., SALINAS J., 1996, *Mezcla de pigmentos y de luces coloreadas*, *Revista Española de Física*, Vol 9 (1).
- SCOTT P., ASOKO H., DRIVER R., 1991, *Teaching for conceptual change: a review of strategies*, *Procc. of an Int. Workshop in Physics learning*, Univ. of Bremen, Germany.
- SEARS F, 1966, *Fundamentos de Física III - Optica*, Ed. Aguilar, España.
- SETTLAGE J., 1995, *Children's conception of light in the context of a technology based curriculum*, *Science Education*, Vol 79 (5).
- SMITH F., THOMPSON I., 1979, *Optica*, Ed. Limusa, México.
- SOLOMON J., 1987, *Social influences on the construction of pupils' understanding of science*, *Studies in Science Education*, Vol 14, Pag. 63-82.
- TATTON R., 1971, *La ciencia antigua y medieval*, Vol I y II, Ed. Siglo XXI, Buenos Aires.
- TIBERGHEN A., DELACOTE G., GHIGLIONE R., MATALON B., 1980, *Conceptions de la lumière chez les enfants de 10-12 ans*, *Revue Française de Pédagogie*, N° 50.
- VIENNOT L., 1985, *Analyzing students' reasoning: tendencies in interpretation*, *American Journal of Physics*, Vol 53, Pag 432-436.
- VIENNOT L., 1989, *La didáctica en la enseñanza superior, para qué?*, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol 7, (1).

VIENNOT L., 1990, Students ideas and common experience, a direct link? Examples in geometrical optics, Goethe Inst. Pub., Frankfurt.

WATTS M., 1983, A workshop on the concept of light. Material not published. Secondary, Sience Curriculum Review, Hartford House, London.

WATTS M., 1985, Student conceptions of light: a

case study, Physics Education, 20, Pg. 183-187.

ZANETIC J., MENEZES L., HOSOUME Y., 1991, Física 2 - Física térmica y Óptica, De. da Univ. de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil

ZEIDLER D., LEDERMAN N., TAYLOR S., 1992, Fallacies and student discourse: conceptualizing the role of critical thinking in science education, Science Education, Vol 76 (4).

### APÉNDICE 1 NATURALEZA Y PROPAGACIÓN DE LA LUZ

El cuestionario que se enuncia a continuación ha sido elaborado sobre la base de múltiples experiencias piloto (Pesa, Cudmani, Salinas 1995; Pesa, Cudmani, Bravo 1996; Cudmani, Pesa, Salinas 1996) y a problemas propuestos en investigaciones realizadas por otros autores (Kaminski 1991; Tiberguien et. al. 1980; Bendall et.al. 1993; Andersson et. al. 1983; Guesne 1985; Andersson et. al. 1986; Mello Alves 1990, Watts 1983).

#### Cuestionario referido a la naturaleza y propagación de la luz.

Es Ud. graduado? .....

Seudónimo .....

Docente de nivel: primario - secundario - universitario  
(tache lo que no corresponda)

Es Ud. estudiante? .....

Este cuestionario no es una prueba. Su objetivo no es evaluar su conocimiento para atribuirle una nota. Es una evaluación diagnóstica que nos permitirá conocer las condiciones iniciales del grupo. Por lo tanto, no necesita escribir su nombre, puede elegir un seudónimo si así lo desea. Interesa su propia interpretación, la primera respuesta que llega a su cabeza.

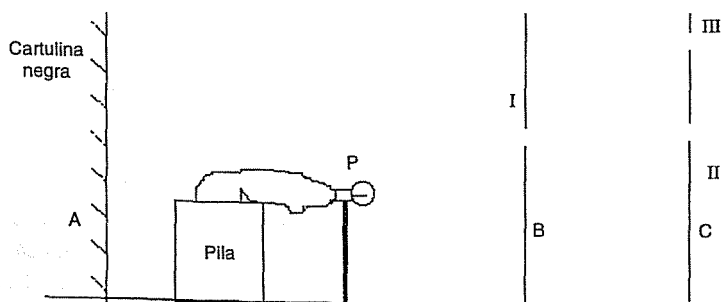
Si al avanzar en el desarrollo del cuestionario quisiera cambiar alguna de sus respuestas, no borre su primera respuesta. Puede aclararlo al final en hoja aparte.

GRACIAS POR SU COLABORACION

- 1- a) Puede verse el haz que emite una linterna?
- b) Cuán lejos llega este haz?
- 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 linterna tuviera un haz de luz láser? Explique.

2- En la figura 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.



3- Califique como verdadera o falsa las siguientes afirmaciones y justifique brevemente sus respuestas tanto afirmativas como negativas. Realice diagramas para aclarar sus respuestas, si Ud. lo considera necesario.

- a) la luz se propaga en línea recta
- b) los relámpagos en las noches de tormenta constituyen una prueba experimental de que la propagación de la luz no es rectilínea
- c) una hoja de papel refleja la luz en menor proporción que un espejo, ya que si lo hiciese en igual proporción que un espejo, uno podría ver en ella su imagen
- d) un espejo refleja mucha luz, por lo que podría usarse como pantalla de proyección
- e) los espejos y las pantallas forman imágenes
- f) si un objeto se ve es porque refleja la luz
- g) 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?).
- h) el ojo forma imágenes
- i) el ojo recibe imágenes
- j) un objeto se ve porque su imagen se traslada como un todo en el espacio

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?

5- Explique por qué pueden verse los objetos. Señale cuáles son los conceptos fundamentales que explican la visión y con ellos construya un mapa conceptual explicitando las uniones entre conceptos.

6- Si Ud. se parase frente a un 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?

7- Se interpone la mano entre un foco luminoso y una pantalla. Será posible que la sombra sea:

- a) menor que el tamaño de la mano?
- b) del mismo tamaño de la mano?
- c) mayor que el tamaño de la mano?

Explique y haga un gráfico para aclarar su respuesta sea ésta afirmativa o negativa.

8- Puede Ud. ver los ojos de una persona en un espejo sin que ella simultáneamente pueda ver los suyos? Haga un diagrama para aclarar su respuesta.

## APÉNDICE 2

### PROTOCOLO DE LAS ENTREVISTAS REFERIDAS A LA FORMACIÓN DE IMÁGENES CON ORIFICIOS DE DISTINTAS DIMENSIONES (RICE, FEHER 1987; DYKSTRA 1992; PESA, CUDMANI, SALINAS 1995).

#### Equipo experimental:

- Fuente de luz con filamento en forma de serrucho
- Pantalla
- Diafragmas con aberturas grandes o pequeñas respecto al tamaño de la fuente (aberturas de distintas formas y dimensiones practicadas sobre cartulina opaca)
- La fuente y la pantalla están separadas aproximadamente 1m y equidistante de ambas se colocan los diafragmas.

El docente coordinador (D) de su grupo preparó una experiencia donde el sistema experimental está formado por una fuente de luz con filamento en forma de serrucho, un conjunto de diafragmas con aberturas de distintos tamaños que colocará alternativamente frente a la fuente, y una pantalla.

Responderemos a continuación a una serie de preguntas que formulará el docente coordinador MANTENIENDO LA FUENTE APAGADA.

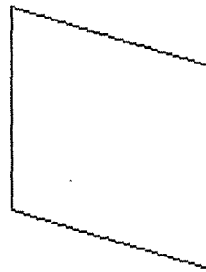
a) **D:** Estamos frente al siguiente sistema experimental formado por



Fuente



Diafragma con Orificio



Pantalla

una fuente cuyo filamento tiene forma de serrucho, una pantalla y un diafragma con aberturas de distintas dimensiones que colocamos entre la fuente y la pantalla. ¿Qué verá en la pantalla si enciende la luz y se retira el diafragma?

**E:** Respuesta oral: ....

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito y haga un diagrama para aclarar la misma.

b) **D:** ¿Qué observará ahora en la pantalla si colocamos un diafragma con un orificio grande (grande con respecto a las dimensiones de la fuente) en la mitad del camino entre la fuente y la pantalla?

**E:** Respuesta oral: ....

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito y haga un diagrama para aclarar la misma.

c) **D:** ¿Qué observará en la pantalla si colocamos un diafragma con un agujero pequeño (pequeño respecto del tamaño de la fuente)?

**E:** Respuesta oral: ....

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito y haga un diagrama para aclarar la misma.

d) **D:** Si ahora desplazamos la pantalla, alejándola y acercándola del orificio pequeño, ¿qué observará?

**E:** Respuesta oral: ....

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito y haga un diagrama para aclarar la misma.

e) **D:** ¿Qué observará en la pantalla si colocamos un diafragma con un conjunto de agujeros pequeños (pequeños respecto al tamaño de la fuente)?

**E:** Respuesta oral: ....

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito y haga un diagrama para aclarar la misma.

f) **D:** ¿Qué observará en la pantalla si los agujeros pequeños forman una letra L?

**E:** Respuesta oral: ....

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito y haga un diagrama para aclarar la misma.

El docente coordinador encenderá a continuación la fuente y colocará las diferentes aberturas, para que el(los) entrevistado(s) confronte(n) cada una de sus predicciones con los resultados de las experiencias. En los casos en que la predicción no coincida con los resultados experimentales se solicitará una explicación y una justificación de estas inconsistencias. Se plantearán preguntas como las siguientes:

**D:** ¿Cómo puede explicar lo que Ud. observa?

g) **D:** ¿Cómo explica la inversión de la imagen?

h) **D:** Si quita la pantalla y mantiene el diafragma, ¿seguirá observando la imagen?

**E:** Respuesta oral: ....

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito y haga un diagrama para aclarar la misma.

### Actividades Grupales de Síntesis

1- Discuta con sus colegas sus predicciones y sus explicaciones para cada uno de los items formulados en



la actividad.

Discuta sus explicaciones para los comportamientos observados.

2- A continuación se enuncian algunas preguntas que el grupo podría discutir en la síntesis grupal y del colectivo general:

- ¿Qué diferencias y/o analogías pueden establecerse entre la imagen que genera una lente y la imagen formada por una abertura pequeña? Justifique.
- ¿Cuál es el rol de la pantalla en este sistema óptico? ¿Es necesaria para la formación de la imagen?
- ¿Se desenfocan las imágenes formadas por los agujeros pequeños al mover la pantalla? Justifique.
- ¿Cuál es el rol del observador en este sistema óptico?

3- Elabore con su grupo una síntesis de los aspectos más relevantes de esta actividad.

**Actividades Grupales de Síntesis (incluidas sólo en los talleres de formación y actualización de profesores).**

4- A partir de las dificultades que surgieron en el grupo:

- a- ¿Qué conceptualizaciones básicas piensan Uds. que deberían enfatizarse durante la instrucción?
- b- ¿Detectaron algunas fuentes de confusiones o preconcepciones? ¿Son similares a las preconcepciones de nuestros alumnos? ¿Cómo reelaborarlas?
- c- ¿Contribuimos los docentes en algunas ocasiones e involuntariamente a afianzar estas preconcepciones?

5- Elabore con su grupo una síntesis de los aspectos más relevantes de esta actividad.

### APÉNDICE 3

#### PROTOCOLO DE LAS ENTREVISTAS REFERIDAS A LA FORMACIÓN DE SOMBRAS DE DISTINTAS DIMENSIONES (RICE, FEHER 1987; DYKSTRA 1992; PESA, CUDMANI, SALINAS 1995).

**Equipo experimental:**

- Fuente de luz con filamento en forma de serrucho
- Pantalla
- Esferas opacas de diferentes tamaños (grandes o pequeñas respecto al tamaño de la fuente)
- La fuente y la pantalla están separadas aproximadamente 1m y equidistante de ambas se colocan los obstáculos.

El docente coordinador (D) de su grupo preparó una experiencia donde el sistema experimental está formado por una fuente de luz con filamento en forma de serrucho, un conjunto de obstáculos de distintos tamaños que colocará alternativamente entre la fuente y la pantalla.

Responderemos a continuación a una serie de preguntas que formulará el docente coordinador **MANTENIENDO LA FUENTE APAGADA.**

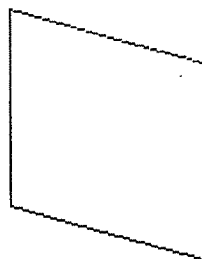
a) **D:** Estamos frente al siguiente sistema experimental



Fuente



Obstáculo



Pantalla

formado por una fuente cuyo filamento tiene forma de serrucho, un obstáculo cuyas dimensiones son del orden de la fuente y una pantalla. El obstáculo se ubica equidistante de la fuente y la pantalla. ¿Qué espera observar sobre la pantalla si se enciende la fuente?

**E:** Respuesta oral: ...

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito. Haga un diagrama para justificar la misma.

b) **D:** ¿Qué verá sobre la pantalla si cambiamos el obstáculo y colocamos otro cuyas dimensiones son mucho menores que las de la fuente?

**E:** Respuesta oral: ...

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito. Haga un diagrama para aclarar la misma.

c) **D:** ¿Qué observará sobre la pantalla si cambia la posición de la misma (la acerca o aleja de la cuenta) manteniendo las otras distancias fijas?

**E:** Respuesta oral: ...

**D:** Explique y justifique su respuesta por escrito. Haga un diagrama para aclarar la misma.

d) **D:** ¿Qué observará sobre la pantalla si coloca el obstáculo justo frente a la misma?

**E:** Respuesta oral: ...

**D:** Dé su respuesta por escrito. Explique. Haga un diagrama para aclarar la misma.

A continuación el coordinador encenderá la fuente para que los integrantes del grupo analicen en cada caso si las predicciones coinciden o no con los comportamientos observados y en los casos en que las predicciones no coincidan con los resultados experimentales, formulará las siguientes preguntas:

**D:** ¿Cómo puede explicar la sombra que Ud. ve? ¿Coincide con su predicción? ¿Cómo explicaría el comportamiento observado?

**E:** Respuesta oral: ...

**D:** Dé una explicación por escrito y haga un diagrama para justificar sus respuestas.

### Actividades Grupales de Síntesis.

1- Discuta con sus colegas sus predicciones y sus explicaciones para cada uno de los items formulados en esta actividad.

2- Para aquellos casos en que las observaciones no coincidieron con las predicciones, ¿a qué atribuye el grupo estas discrepancias?

3- A partir de las dificultades que eventualmente surgieron en el grupo, ¿qué conceptualizaciones básicas piensan Uds. que deberían ser rediscutidas grupalmente?

### Actividades Grupales de Síntesis (incluidas sólo en los talleres de formación y actualización de profesores).

4- A partir de las dificultades que surgieron del grupo:

a- ¿Detectaron algunas fuentes de confusiones o preconcepciones comunes entre los docentes? ¿En ese caso, cómo reelaborarlas? ¿Coinciden esas preconcepciones con la de los estudiantes? ¿Podría/n perfilarse algún/os modelo/s común/es?

b- ¿Contribuimos los docentes en algunas ocasiones (involuntariamente) a afianzarlas?

c- ¿Le parece que las conceptualizaciones que se elaboran y revisan en esta actividad son temáticas fundamentales de la Óptica Geométrica? Justifique.

d- ¿Le parece factible y/o pertinente la discusión de estas temáticas en los niveles secundario, terciario y/o universitario básico? Justifique.

5 - Elabore con su grupo una síntesis con los aspectos que consideren más relevantes de esta actividad.