

Propuesta de un Curso de Optica para Carreras de Profesores de Fisica dentro del Marco del Proyecto Puffal

(Proposal of an optics course for careers of physics teachers - the Puffal project)

Leonor Colombo de Cudmani, Marta Pesa de Danón, Julia Salinas de Sandoval

*Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán, Avenida Independencia 1800
(4000) Tucumán, Argentina*

Trabalho recebido em 19 de janeiro de 1995

Resumen

Se elabora una propuesta de un curso de profesores de Física Optica para carreras de basada en trabajos de investigaciones educativas en esa área. Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto UNESCO Fundamentos de Física para América Latina (PUFFAL). Tomando como base el paralelismo entre la evolución histórica y la sicogénesis de las concepciones, el curso ha sido planeado de modo que las estructuras sistemáticas de la Optica actual se reconstruyan teniendo en cuenta la evolución histórica de las teorías y las concepciones epistemológicas que acompañaron sus cambios.

Abstract

A proposal of an Optics course for careers of Physics teachers based on science education research is made. This work is part of the UNESCO Project of Physical Foundations for Latin America. Taking the paralelism between the historical evolution and the psychogenesis of scientific conceptions as a starting point, the course has been planned in such a way that the systematic structures of the actual Physics could be reconstructed considering the historical evolution of the theories and the epistemological commitments associated to their changes.

1. Introdução

El Proyecto Unesco Fundamentos da la Física para América Latina (PUFFAL) se origina a raíz de que *“los conocimientos en la Física han evolucionado mucho, transformando nuestra forma de pensar y de vivir. Sin embargo los contenidos y los métodos de su enseñanza han cambiado muy lentamente. Por otra parte, el aprendizaje de la Física les resulta difícil y muy poco atractivo a la mayoría de los estudiantes. Esta situación es crítica en los países en desarrollo, en donde hay poca posibilidades de producir cambios educativos. No por ello es menos urgente que la ciencia, la tecnología y la cultura sean factores de transformación y de*

progreso. Para ello, un elemento de apoyo consiste en promover un mejor aprendizaje en Matemáticas, Física, Química y Biología. La UNESCO, por medio de su División de Ciencias Básicas en la Oficina de París, ha lanzado la iniciativa de generar varios proyectos que incidan en qué y cómo se enseña. Sea han pensado en carreras que usan la ciencia pero que no necesariamente se proponen formar científicos en las disciplinas básicas” (Boletín Informativo Unesco N^o 1, 1991).

A fines de 1991 se lanzó una convocatoria para que se presentaran propuestas curriculares modelos para el diseño de un primer curso de un semestre dedicado a la Física Clásica.

Por invitación de los coordinadores del proyecto se elabora la presente propuesta, basada en nuestros trabajos de investigaciones educativas en el campo de la Óptica.

Esta propuesta fue evaluada positivamente por especialistas latinoamericanos, de India y de China, durante la Reunión Latinoamericana del Proyecto PUF-FAL realizada entre el 11 y el 13 de agosto de 1993 en Rio de Janeiro (Brasil).

Fundamentación del proyecto

Este curso ha sido estructurado en base a ciertas ideas fundamentales que han guiado nuestras investigaciones en los últimos años.

Si bien los temas de un curso tradicional: reflexión, refracción, interferencia, etc., siguen siendo principal objetivo del aprendizaje, éste se inserta en un marco que busca integrar resultados de recientes investigaciones en enseñanza de las ciencias. El modelo de aprendizaje en el cual se encuadra esta propuesta es el de cambios paradigmáticos. En efecto, en los últimos años parece haber consenso entre los investigadores respecto a que los estudiantes poseen esquemas conceptuales propios, no instruccionales, que usan para interpretar la realidad. Se trata de esquemas más o menos estructurados pero que adolecen de pobre objetividad, poca claridad y precisión conceptual, con contradicciones e incoherencias.

De acuerdo a esta perspectiva el aprendizaje se habrá logrado cuando se produzca un cambio desde el paradigma espontáneo del conocimiento común, al paradigma científico.

Es importante destacar que, en nuestro modelo (1), el cambio paradigmático no se limita a un cambio conceptual (2) (3) sino que, en una concepción totalizadora se incorporan los cambios en las estructuras sintácticas con las que se construyen y convalidan las concepciones, los cambios actitudinales que acompañan a estos cambios metodológicos y, a más largo plazo, los cambios epistemológicos que se reflejan en las modificaciones de los criterios de convalidación, explicación, interpretación, etc.

Sin embargo, el proceso de aprendizaje no se limita al pasaje de un modelo precientífico a un modelo científico. Ningún modelo o teoría científica está

libre de inconsistencias (ni siquiera las construcciones axiomáticas de la matemática), de modo que es de esperar que, en un momento u otro, el nuevo paradigma científico revele limitaciones.

Algunas investigaciones muestran cuán difícil es sustituir ciertas estructuras cognoscitivas adquiridas en etapas previas de la instrucción. Así por ejemplo, es muy difícil lograr reemplazar el modelo de la onda monocromática ideal de la teoría ondulatoria de la Óptica Física elemental, por el de trenes de onda de longitud finita y no correlacionados, necesario para comprender muchos problemas de Óptica Física (4).

Frente a esta realidad parecería que el aprendizaje de las ciencias no puede limitarse a realizar cambios hacia paradigmas generalmente preestablecidos y seleccionados por el docente, sino que debe intentar desarrollar estrategias que permitan al estudiante modificar sus paradigmas, sus esquemas interpretativos, en forma autónoma, autogenerada, cada vez que lo requieran las situaciones problemáticas a las que se enfrenta.

Esta estrategia resulta particularmente valiosa si se tiene en cuenta el paralelismo entre la evolución histórica y la sicogénesis de las concepciones sobre la naturaleza de la luz y de los fenómenos ópticos que originan las preconcepciones (5) (6). Es por ésto que el curso ha sido planeado de modo que las estructuras sistemáticas de la Óptica actual se reconstruyan teniendo en cuenta la evolución histórica de las teorías sobre la luz y la visión y de las concepciones epistemológicas que acompañaron estos cambios.

En síntesis, la estrategia a seguir en el curso será la de comenzar por sacar a luz las ideas intuitivas y preconceptuales y generar conflictos e incoherencias que motiven para un cambio hacia un modelo científico, consolidar este modelo para luego mostrar a su vez los límites e incoherencias del mismo y de este modo ir avanzando hacia modelos cada vez más abarcativos, más precisos y más profundos.

Todo esto acompañado por el análisis histórico y epistemológico. Si se tiene en cuenta que gran parte de los conflictos desencadenantes del aprendizaje se encuadran en la búsqueda de un explicación, consideramos que la profundización en el estudio de los mecanismos lógicos, psicológicos epistemológicos y sociológicos involucrados en ella, puede constituir un camino promisorio

para encontrar criterios capaces de favorecer la generación de aprendizaje autónomo.

En la respuesta a preguntas tales como: ¿Qué constituye una explicación científica según las distintas corrientes epistemológicas?. Cómo se van modificando esas explicaciones a medida que progresa el conocimiento científico?. ¿Cuándo un estudiante considera aceptable una explicación?, es muy posible que se encuentren guías válidas para el problema que nos ocupa.

En base a todo lo expuesto se propone una estructura en tres módulos:

Modulo I - La fenomenología de la luz y la visión

Tiene como principal objetivo efectuar una aproximación cualitativa y semicuantitativa a los fenómenos luminosos y de la visión, mediante experiencias y observaciones sencillas. A partir de las interpretaciones y explicaciones se podrán detectar las preconcepciones de los estudiantes. En efecto, recientes investigaciones muestran que los estudiantes universitarios, aún los que no han recibido instrucción formal en el campo de la Óptica durante su formación en la escuela media, al entrar en contacto con el mundo van construyendo modelos para entender y explicar diferentes fenómenos luminosos de la vida diaria tales como formación de imágenes y sombras, comportamientos de aberturas, espejos, lentes y prismas, formación de patrones de interferencia de franjas claras y oscuras estables, películas coloreadas,...

Esas construcciones tienen en general como marco de referencia el sentido común, son esencialmente fenomenológicas, aisladas, asistemáticas y muchas veces contradictorias. Apuntan fundamentalmente a explicar la visión y las percepciones luminosas más que a ahondar sobre la naturaleza de la luz.

Estas preconcepciones y modelos intuitivos serán luego usados, durante el desarrollo del curso, como puntos de partida para la construcción de un nuevo paradigma, empleándolos como núcleos subsunores en los que se anclarán las nuevas conceptualizaciones. Se pondrá especial atención en la discriminación de aquellos errores que no tienen ningún asidero científico o racional, de aquellos otros que son el resultado de un proceso de construcción, todavía incompleto, con incoherencias y contradicciones, pero que pueden ser considerados como

estadios previos a partir de los cuales pueden afianzarse las construcciones científicas.

El paralelismo entre los modelos históricos que se construyeron en la Óptica y los paradigmas precientíficos muestra un gran valor heurístico como eficiente guía para detectar dificultades frecuentes en la construcción social e individual del conocimiento y para la articulación y propuesta de los recursos instruccionales que se sugieren.

Modulo II - Construcción de las conceptualizaciones de la Óptica Geométrica

Siguiendo los lineamientos ya esbozados se profundiza en el aprendizaje de los fenómenos ópticos que pueden estudiarse dentro del marco de este modelo, para terminar encarando situaciones conflictivas que obliguen a reflexionar críticamente sobre los límites de validez, de ámbito, de precisión y de poder explicativo de este modelo.

Modulo III - Conceptualizaciones fundamentales de la Óptica Ondulatoria y Electromagnética. El advenimiento de la Óptica Cuántica y la Óptica de Fourier

La estrategia es similar a la del Módulo II.

La complejidad de los fenómenos que se estudian obliga a una sucesión de cambios paradigmáticos: de modelos, metodologías y concepciones epistemológicas que proporcionan un excelente ejemplo de la aceleración en la evolución de las conceptualizaciones científicas. Al abrir la posibilidad de enfoques en base a más de un paradigma alternativo, brinda al estudiante la oportunidad de formular respuestas alternativas, características del pensamiento divergente.

Este módulo permite incorporar experiencias y conceptualizaciones desarrolladas en la última década y dejar numerosos temas abiertos para posteriores aprendizajes.

De este modo, el curso servirá no sólo para aprender Óptica sino también para ejemplificar en qué consiste una teoría y una explicación científica, cuáles son los caminos que permiten a los científicos ir desde los datos brutos a sus sistemas conceptuales y viceversa, etc. No hay duda que estas adquisiciones tienen un gran valor de transferencia para el aprendizaje de cualquier otro campo de la Física.

Metodología

Los módulos se desarrollan con la modalidad de un taller teórico-experimental. Esta técnica favorece el protagonismo del aprendiz al dar mejor oportunidades de participación, discusión e intercambio entre los estudiantes y de los estudiantes con el profesor (7).

El taller se organiza en actividades que serán presentadas como situaciones problemáticas a las que podemos desglosar en tres bloques:

- * *Actividades de Iniciación* Generan la motivación, sensibilizan sobre el tema, proporcionan un hilo conductor a la tarea y frecuentemente explicitan y sacan a luz las preconcepciones y modelos alternativos. A manera de ejemplo ver experiencias de los trabajos que figuran en la bibliografía (4) (8).
- * *Actividades de Desarrollo* Apuntan a la construcción y manejo significativo de los conceptos y a la familiarización con los aspectos claves del trabajo científico a desarrollar en el abordaje de situaciones problemáticas (formulación de un problema, emisión y fundamentación de hipótesis, manejo bibliográfico, análisis e interpretación de resultados, etc.) (4) (9) (10) (11).
- * *Actividades de Síntesis* Abarca la elaboración de síntesis finales, referencias al hilo conductor del tema, evaluación del aprendizaje realizado, explicitación de problemas que quedan planteados... (11) (12) (13).

Todas estas actividades se planifican para ser desarrolladas en grupos de tres o cuatro estudiantes. Se intenta mostrar la insuficiencia del trabajo individual y la importancia del trabajo colectivo para la contrastación de resultados y la búsqueda de resultados convergentes. Este proceso se ve favorecido por las discusiones y síntesis intergrupales.

Esta concepción no implica de ninguna manera desvalorizar un trabajo individual de estudio, profundización y afianzamiento del conocimiento sino que lo complementa.

En este marco la tarea del docente coordinador es fundamental: orienta las actividades grupales, apoya las discusiones, clarifica los núcleos de dificultad, dirige las síntesis finales y, en caso necesario, reformula las tareas para una mejor adecuación a las condiciones del grupo.

En el ítem Material Didáctico de cada módulo se explicitan los recursos que permiten operativizar la metodología propuesta.

Modulo I - La fenomenología de la luz y la vision

Contenidos

Se propone una serie de actividades a ser planteadas como situaciones problemáticas y cuya discusión y análisis se encara grupalmente. Consiste en observaciones y experiencias sencillas realizadas, en general, con material de bajo costo. Dichas actividades abarcan las siguientes temáticas:

- ** ¿ Se ve la luz? - ¿Por qué vemos los objetos? - Elementos y procesos que intervienen en la visión de los objetos - Objetos luminosos e iluminados - Reflexión especular y reflexión difusa - El rol de nuestro detector luminoso: el ojo.
- ** ¿ Qué es el color de un objeto? - Elementos que determinan el color - La visión y sensación de color - El rol de las fuentes luminosas, de las características de la superficies y de la respuesta del ojo en la sensación de color.
- ** ¿ Qué es y cómo se produce una sombra? - Formación de sombras con obstáculos de diferentes dimensiones frente al tamaño de la fuente - Sombra geométrica - Sombras con la forma de la fuente - Sombras difractadas - Sombras coloreadas - Condiciones para su formación.
- ** ¿Cómo se forman las imágenes con aberturas? - Importancia de las dimensiones del sistema experimental y de la fuente en la formación de la imagen - Analogías y diferencias entre imágenes formadas con aberturas y con lentes. La cámara oscura.
- ** ¿Cómo se forman las imágenes con espejos planos, paralelos y esféricos? - Reflexión especular - Diferencia entre imagen real y virtual - La formación y visión simultánea de la imagen virtual.
- ** ¿Cómo forman imágenes los elementos refractantes como prismas y lentes? - Imágenes virtuales formadas con prismas - Imágenes reales y virtuales formadas con lentes - El rol de la lente como formador de la imagen, la pantalla como receptor y reflector, la fuente como conjunto de infinitos

emisores en todas las direcciones. Diferencia entre una pantalla y el ojo.

- ** ¿Por qué aparecen patrones de franjas claras y oscuras al observar fuentes convencionales distantes a través de pequeños orificios o rendijas, o en películas delgadas? - Los fenómenos de interferencia y difracción - El rol de las dimensiones del sistema experimental, del tamaño y grado de monocromaticidad de la fuente y el tiempo de respuesta del detector en la observación de los patrones estables - Comportamiento de sistemas con rendijas o con redes.
- ** ¿Cuál es el origen de las líneas coloreadas que se observan al colocar un trozo de material plástico transparente entre polarizadores? - ¿Por qué se modifica la intensidad transmitida al rotar un polarizador que recibe la luz reflejada? - Comportamiento de materiales birrefringentes.
- ** ¿Qué es un holograma? - Analogías y diferencias entre una fotografía y una holografía - La imagen real y virtual holográfica.

El estudio de estos contenidos se realiza con la metodología antes mencionada y con los recursos didácticos que se mencionan a continuación.

Material Didáctico del Módulo I

El material didáctico a usar en el módulo abarca:

*** *Experiencias* como las propuestas en los trabajos de investigación y desarrollo que se citan en las referencias bibliográficas (4), (8), (9) y (10) y las implementadas durante los talleres: “¿Entendemos el concepto de coherencia luminosa?” (Realizado durante V Reunión de Educación en la Física - Argentina - 1987), “Problemas Conceptuales en el aprendizaje de la Formación de Imágenes con lentes y espejos” (Realizado durante la VI Reunión de Educación en la Física Argentina - 1989).

A manera de ejemplo se describe en el Apéndice I un conjunto de experiencias propuestas para sacar a luz las concepciones de los estudiantes respecto a un fenómeno poco familiar (aunque sea producido con elementos cotidianos): *la formación de imágenes y sombras* a través de orificios y obstáculos (de distintas dimensiones respecto a la fuente) utilizando fuentes extendidas. Se trata de conocer las concepciones alternativas más arraigadas acerca de la propagación luminosa

y la formación de imágenes, evitando hacer mención a fenómenos de reflexión y refracción. Estos últimos pueden llegar a enmascarar las concepciones alternativas al hacer emerger hábitos irreflexivos productos de la instrucción.

La metodología de abordaje a estos problemas sigue, en líneas generales, los siguientes pasos:

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

En la bibliografía se citan numerosos trabajos que pueden ser usados por los profesores para profundizar sus conocimientos e incorporar nuevos elementos tanto teóricos como experimentales a su práctica:

*** *Aportes de las investigaciones educativas en el área*^[4,14-16]

*** *Textos de Física Básica*^[11,17-25]

Modulo II - Optica geométrica, su estructuración y sus límites

Contenidos

** *Luz y visión en la Antigüedad* La Optica protocientífica de los griegos - Características generales de sus explicaciones y modelos referenciales - Teoría de la emanación - Teoría de la eidola. Paralelismo con explicaciones espontáneas - Primeras concepciones sobre el color - Teorías corpuscular y dinámica de la luz. Especulación y experimentación - Las primeras leyes empíricas - La ley de reflexión - Influencia de la cosmovisión de la época. Relación entre aspectos sustanciales y sintácticos en las formulaciones teóricas.

** *La Optica en la Edad Media* La verificación experimental como criterio de verdad en ciencias - El

ojo como instrumento óptico. Desarrollos experimentales - La velocidad de la luz - La cámara oscura - Reflexiones sobre la metodología de la investigación científica.

** *El Nacimiento de la Óptica Moderna* La revolución metodológica galileana - La separación de la física de la luz de los fenómenos de la visión. La teoría fenomenológica de la Óptica Geométrica: las leyes de reflexión y refracción - Comportamiento de reflectores especulares y difusos - Formación de imágenes con espejos planos y esféricos - Imágenes formadas por refracción - Lentes - Prismas. Aberraciones de sistemas ópticos - Instrumentos ópticos - El ojo como sistema óptico - Instrumentos que mejoran la visión - Instrumentos de proyección - El color como propiedad sicofísica - Ambito, precisión y profundidad de la óptica geométrica - Aportes más destacados a las estructuras sintácticas y sustanciales - La axiomatización de la teoría - Limitaciones de la Óptica Geométrica.

Material Didáctico del Módulo II

El material didáctico a usar en el módulo abarca: *** Experiencias como las propuestas en los trabajos de investigación y desarrollo que se citan en las referencias bibliográficas (8) (9) (10) y (26) y las realizadas en el taller “Problemas Conceptuales en el aprendizaje de la Formación de Imágenes con lentes y espejos”.

Mencionaremos algunos ejemplos referidos a temáticas tales como:

- La Formación de Imágenes en Óptica Geométrica
En el Apéndice II y III se transcriben algunas cuestiones problemáticas teórico-experimentales.

La metodología de abordaje es similar a la descrita anteriormente.

Las discusiones que se generan ponen de manifiesto que el mecanismo de formación de imágenes es un tema abstracto y difícil de comprender, dando lugar a muchos errores conceptuales. Se generan oportunidades para que los alumnos expliciten sus ideas previas y las comparen con las que se generaron en el proceso histórico de la ciencia. Así por ejemplo, la mayoría de los estudiantes piensan en términos de un viaje “uno a uno” desde el

punto luminoso al punto imagen por sólo un rayo y no ven la situación particular que se presenta cuando muchos rayos llegan al mismo punto. Es la idea de la “imagen viajera”, similar al concepto de “eidola” que aparece en los primeros modelos intuitivos desarrollados por los griegos (5) (6).

También surge frecuentemente la concepción holística (8) de la propagación luminosa que supone que la luz se propaga en bloque, con la forma de la fuente emisora.

La discusión y comparación de las predicciones del estudiante y de sus justificaciones, con el comportamiento realmente observado, permite aclarar confusiones muy generalizadas.

c) En un nivel de elaboración más avanzado se plantean también experiencias más estructuradas, como proyectos de búsqueda de relaciones entre magnitudes significativas, de modo sistemático y siguiendo un plan previamente elaborado que permitirán desarrollar objetivos procedimentales y actitudinales de gran transferencia, tales como: criterios para evaluar incertezas experimentales, seleccionar modelos, graficar datos, interpretar gráficos, ajustar relaciones analíticas a los datos, calcular parámetros acotados, evaluar resultados, etc. (26).

Experiencias concretas que han mostrado su potencialidad didáctica son por ejemplo: medición de índice de refracción con precisiones predeterminadas, medición de longitudes de ondas con prismas y redes; aumento y poder separador de un microscopio, construcción de anteojos y determinación de su aumento, etc.

Si bien estos enunciados son similares a los de propuestas tradicionales, la metodología de abordaje cambia sustancialmente respetando el espíritu de la propuesta y acercando la metodología de trabajo a los modos de proceder de investigadores novatos (los alumnos) bajo la guía de un científico experto (el docente).

En todos los temas de trabajo teórico experimentales se complementará con la investigación bibliográfica sobre los desarrollos históricos de las teorías en juego, orientada preferentemente hacia la lectura de trabajos originales (Aristóteles, Alhazen, Newton, Huyghens, etc.). La lectura crítica

no sólo servirá para favorecer la construcción de concepciones y teorías de la óptica sino que permitirá ir incorporando una imagen de ciencia y metodología científica superadora de concepciones previas, ingenuas y acríticas sobre este tema (Ver ejemplos en Apéndice IV).

En la bibliografía se citan numerosos trabajos que pueden ser usados por los profesores para profundizar sus conocimientos e incorporar nuevos elementos tanto teóricos como experimentales a su práctica:

*** *Aportes las investigaciones educativas en el área*^[5,6,8,14,28].

*** *Textos de Física Básica*^[17-24,29-31].

*** *Textos de Epistemología e Historia de la Física*^[32-38].

Modulo III - Concepciones fundamentales de la óptica ondulatoria y electromagnética - el advenimiento de la óptica cuántica y la óptica de Fourier

Contenidos

La Óptica Ondulatoria de Huygens Modelo ondulatorio de propagación luminosa - El principio de Huygens-Fresnel - Fenómenos de interferencia - Fenómenos de difracción - Alcances y limitaciones de la teoría ondulatoria.

La Óptica corpuscular de Newton Análisis comparativo de ámbito, profundidad y precisión de ambas teorías - El principio de complementareidad de Heisenberg - El peso de los criterios de verdad extracientíficos: el caso del éter.

La síntesis Electromagnética Modelos explicativos para la interferencia, la difracción y la polarización luminosa. Paradigma de la onda luminosa transversal monocromática ideal. Nuevos experimentos "cruciales" - La teoría de Maxwell. Características generales de sus estructuras sustanciales y sintácticas - El éter electromagnético.

La Óptica hoy La crisis planteada por el experimento de Michelson Morley - El ocaso del modelo del éter: la teoría especial de la relatividad de Einstein - Limitaciones del modelo de la onda luminosa monocromática ideal - La Óptica Cuántica - Descubrimiento del laser - Desarrollo de la Óptica de Fourier - Influencias mutuas de

estructuras sustanciales y sintácticas - Aplicaciones: holografía, filtrado espacial, procesamiento de imágenes ópticas - Perspectivas abiertas.

Síntesis general Análisis comparativo e integrado de las teorías sobre la luz y los fenómenos ópticos - La coexistencia de paradigmas alternativos - Los cambios paradigmáticos a la luz de un modelo de aprendizaje como cambio conceptual, metodológico y actitudinal.

Material Didáctico del Módulo III

El material didáctico a usar en el módulo III abarca:

*** *Experiencias didácticas* Para ejemplificar mencionaremos las experiencias referidas a:

b) *Óptica Física tomando como eje estructurador el concepto de coherencia luminosa*^[10]. Se incluyen en el Apéndice V trabajos teóricos experimentales sobre el tema.

Como ya se mencionó anteriormente la investigación educativa muestra que la persistencia del modelo simplificado de onda infinita, monocromática, coherente... se convierte en un obstáculo conceptual y epistemológico para la comprensión de los fenómenos de la óptica física (27). Estas experiencias han mostrado su potencialidad didáctica para superar la dificultad.

c) *Experiencias de Óptica Contemporánea*^[40,41]

Las actividades planteadas en estas experiencias generan un interés especial en la tarea, al vincular la Física del aula con los nuevos avances científicos y tecnológicos que frecuentemente forman parte de las vivencias diarias más motivadoras de los alumnos.

Como ejemplo se destacan las experiencias de difracción con el disco compacto (CD)^[40]. En efecto, la información impresa en el CD, a lo largo de su estructura en forma de espiral, se comporta como elemento difractor y produce interesantes efectos al incidir sobre ella tanto un haz de luz blanca, como un haz monocromático de luz laser. Este fenómeno, observable a simple vista, permite obtener información respecto a las dimensiones de la

estructura responsable que produce la difracción de la luz (Apéndice VI).

En otros trabajos que se citan en las referencias bibliográficas aparecen experiencias referidas a las siguientes temáticas:

- a) El laser como fuente de luz^[13].
- c) Óptica de Fourier y procesamiento de frecuencias espaciales^[12,41].

Resulta imposible incorporar en este artículo todo el material didáctico elaborado en libros, apuntes de clases y trabajos publicados. Por ello, damos sólo algunos ejemplos ilustrativos y abundantes referencias bibliográficas donde los profesores podrán encontrar material para sus prácticas docentes, dentro del marco del proyecto. Es posible que en el marco del proyecto puedan elaborarse textos y guías más específicos.

*** *Textos de Física Básica*^[11,17-19,22,23,43-48]

*** *Aportes de Investigaciones Educativas en el área*^[5,6,8,14,28].

*** *Textos de Epistemología e Historia de la física*^[32-38].

Conclusiones

Desde la perspectiva de un modelo de aprendizaje de la Física entendido como un cambio que integre al cambio conceptual en un cambio de estructura cognoscitiva, que implica también los cambios en campos metodológicos, epistemológicos, actitudinales, etc., se propone un diseño curricular de un curso de Óptica cuyo principal objetivo es aproximar al aula los resultados de la investigación educativa en el área de la Óptica.

La propuesta recoge no sólo aportes teóricos de la investigación sino también experiencias y metodologías que, habiendo sido diseñadas para situaciones experimentales controladas con el fin de convalidar hipótesis propuestas por los investigadores, han mostrado ser también valiosos recursos didácticos útiles para los profesores.

La extensión limitada de este artículo permite sólo ejemplificar con unos pocos de estos elementos. Sin embargo, la consulta bibliográfica permitirá a los docentes interesados acceder a ricas propuestas para incorporar a su práctica diaria.

Sería deseable que, dentro del marco de este proyecto de UNESCO fuera posible elaborar textos, equipos experimentales, elementos audiovisuales, etc., que faciliten la transferencia. Ya se avanzó en ese sentido cuando se preparó el material didáctico para talleres de formación de profesores organizados por los autores.

Algunos talleres realizados con profesores de nivel medio, a modo de experiencia piloto, han dado resultados positivos. Los participantes, además, la han recibido con entusiasmo. La fundamentación de estas afirmaciones, así como el análisis crítico evaluativo de los resultados obtenidos, serán objetos de otro artículo.

Referencias Bibliográficas

1. CUDMANI L. C. de, SALINAS J., PESA M. "La generación autónoma de conflictos cognoscitivos para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de la Física" Enseñanza de Ciencias, Vol. **3** (2), 237 (1990).
2. POSNER G., STRIKE P., HEWSON P., GERTZOG W. - "Accommodation of a Scientific conception: toward a theory of conceptual change" Science Education, Vol. **66** (2), 211 (1982).
3. HEWSON M., HEWSON P. - "Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies in science learning" Journal of Research in Science Teaching - Vol. **20** (8), 713 (1984).
4. CUDMANI L. C. de, SALINAS J., PESA M. - "Paradigmas en el aprendizaje de la Óptica Física: resultados de una experiencia piloto" Revista de Enseñanza de la Física - Vol. **3**(2), (1990).
5. PESA M. - "La evolución de los modelos en Óptica como potencial heurística en la formulación de estrategias instruccionales", Memorias de la Reunión Nacional en Educación en la Física, Mendoza - Argentina, 1991.
6. PESA M., CUDMANI L. C. de, - "Paralelismo entre modelos precientíficos e históricos en la Óptica: implicancias para la

- Educación”, Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol **10** (2), (1993).
7. PESA M., CUDMANI L. C. de - “Los talleres de actualización y formación de profesores” - Trabajo enviado para su publicación.
 8. PESA M., CUDMANI L. C. de, SALINAS J. - “Transferencia de los resultados de la investigación educativa al aprendizaje de la Optica” Revista de Ensino de Física, Vol. **15** (Nos. 1 al 4), 42 (1993).
 9. SANDOVAL J., SALINAS J. - “A sensação de cor: um problema da Física - Algumas experiencias para sala de aula” - Caderno Catarinense de Ensino de Física”, Vol. **7** (3), 183 (1990).
 10. JAEN M., CUDMANI L. C. de, COLOMBO E. “Optica Física Básica: experiencias introductorias tomando como eje el concepto de coherencia” - Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol. **8** (3), (1991).
 11. CUDMANI L. C. de, PESA de DANON M., SALINAS J., y otros “Optica Física Básica estructurada alrededor del concepto de coherencia luminosa” - Ed. Imprenta de la UNT - Argentina, 1990.
 12. CUDMANI L. C. de, FONTDEVILA P., COLOMBO E. - “Optica de Fourier y Filtrado Espacial” - Revista Española de Física - Vol. **2** (3), 1988.
 13. CUDMANI L. C. de - “El laser como fuente de luz” - Pub. del Inst. de Física - FCEyT - UNT - Argentina, 1973.
 14. SALINAS J. - “La unidad de método y contenido en la construcción y el aprendizaje de la Física” (Partes I y II) - Memorias de REF VII, Mendoza, Argentina, 1991.
 15. PESA M., CUDMANI L. C. de, SALINAS J. - “Presentación de un Texto de Optica Física Básica estructurada alrededor del concepto de coherencia luminosa” - Revista de Ensino de Física - Vol 12, 1990.
 16. PESA M., CUDMANI L. C. de, BRAVO S. - “Formas de razonamientos asociadas a los sistemas preconceptuales sobre naturaleza y propagación de la luz; resultados de una experiencia piloto” Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol. **12** (1), 1995.
 17. LANDSBERG G. - *Optica* (Tomos I y II) - Ed. Mir - Moscú, 1984.
 18. CRAWFORD F. - *Berkeley Physics Course* - Vol.3 - Ed. Reverté, España, 1971.
 19. HECHT E., ZAJAC A. - ”Optica” - Fondo Educativo Interamericano México, 1974.
 20. SEARS F. - *Optica* - Ed. Aguilar - España, 1979.
 21. ALONSO M., FINN E. - “Física: campos y ondas” - Vol II Fondo Educativo Interamericano, México, 1970.
 22. FEYNMAN R. - “Física” - Vol II - Fondo Educativo Interamericano - México, 1971.
 23. JENKINS F., WHITE H. - *Fundamentals of Optics* - Mc Graw H111 Book Company - Fourth Ed., 1985.
 24. ROSSI B. - *Optics* - Adisson Wesley Readings Mass. - USA, 1957.
 25. LOZANO R. - *El color y su medición* Ed. América Lee Buenos Aires, 1978.
 26. CUDMANI L. C. de, LEWIN A. M. F. de - “Organización e Instrumentación de un Laboratorio de Física Experimental en base a un modelo de Aprendizaje Operativo” - Serie EA/2 - 37/80 del Instituto de Física de la FCEyT de la UNT - Argentina, 1979.
 27. CUDMANI L. C. de, SALINAS J., PESA M. - “Dificultades en el aprendizaje de la Optica Física” - Memorias REF VI - Bariloche, Argentina, 1989.
 28. GANIM J. - “Análisis histórico y epistemológico del modelo del eter” Monografía inédita, 1992.
 29. BORN M., WOLF E. - *Principles of Optics* - Pergamon Press Gran Bretaña, 1974.
 30. FRISH S., TIMOREVA P. - *Curso de Física general* - Tomo 3 - Ed. Mir Moscú, 1977.
 31. SMITH F., THOMPSON J. - *Optica* - Ed. Limusa - México, 1979.
 32. TATTON - *Historia de las ciencias* - Vol I, II, III y IV - Ed. Destino - Barcelona, 1971.
 33. HEMPEL C. - *Filosofía de la Ciencia Natural* - Alianza Ed. Madrid, 1987.
 34. HOLTON y ROLLER - *Fundamentos de la*

- Física Moderna* Reverte - España, 1963.
35. KHUN T. - *La estructura de las Revoluciones Científicas* Fondo de Cultura Económica - México, 1971.
 36. PAPP, D. - *Historia de la Física* Ed. Espasa Calpe, Madrid, 1961.
 37. PIAGET J. - *Introducción a la epistemología genética 2 - El pensamiento físico* - Ed. Paidós - Buenos Aires, 1975.
 38. POPPER K. - *La lógica de la Investigación científica*, Ed. Tecnos - Madrid, 1985.
 39. BUNGE M. - *La Investigación Científica* - Ed. Ariel - España 1969.
 40. PESA M., JAEN M., CABRERA M., "Experiencias de Optica usando el disco compacto como difractor" *Revista de Enseñanza de la Física*, Vol. 8 (2) 1995;
 41. PESA M., JAEN M., BRAVO S. - "Introduciendo a los alumnos hacia la Optica contemporánea" *Memorias de la IX REF*, Argentina, 1995.
 42. DITCHBURN R - *Light* - Ed. Wiley - New York, 1963.
 43. FRANCON M., SLANSKY S. - *Coherence en Optique* - Ed. du Centre Nationale de la Recherche Scientifique - Paris, 1965.
 44. FRANCON M. - *Holografía* - Ed. Paraninfo, España, 1972.
 45. FRANÇON M. - *Optique: Formation et Traitement des images*, Massons et Cie Editeurs - Paris, 1972.
 46. GASKILL J. - *Linear Systems, Fourier Transforms and Optics* Mc Graw Hill - New York, 1978.
 47. GOODMAN J. - *Introduction to Fourier Optics* - Mc Graw Hill, New York, 1968.
 48. RESNICK R., HALLIDAY F. - *Física* - Ed. Continental Buenos Aires, 1977.

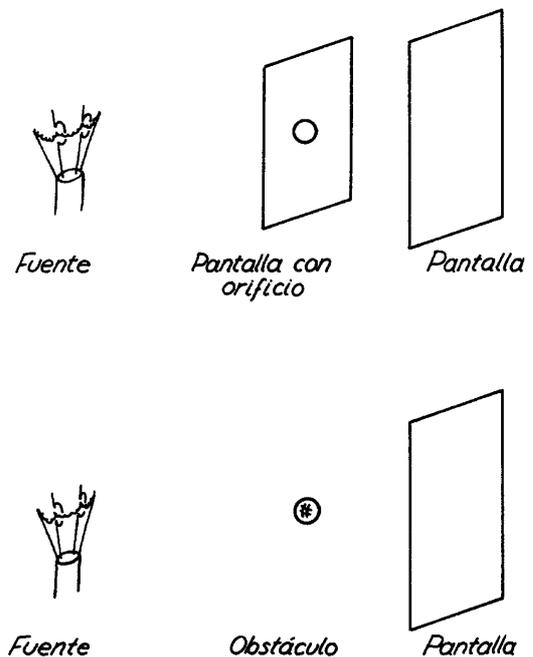
Apendice I

Experiencias con orificios y obstáculos^[8]

El equipo utilizado consiste en:

- una pantalla

- una fuente de luz de vidrio transparente con filamento en forma de serrucho
- un conjunto de placas planas opacas donde se han practicado aberturas o ventanas de diferentes dimensiones con respecto al tamaño de la fuente
- un conjunto de obstáculos de diferentes dimensiones con respecto a la fuente



Se formulan las siguientes preguntas referidas al primer sistema óptico:

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

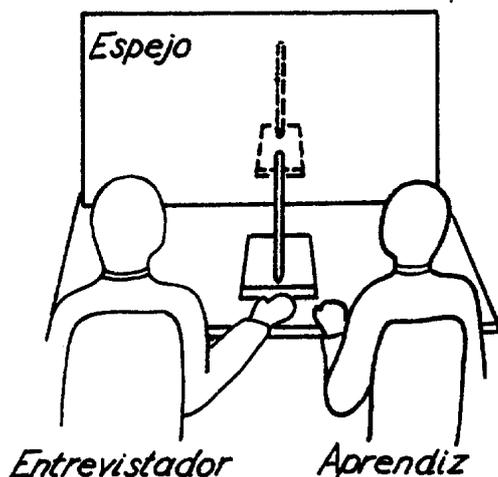
Se formulan las siguientes preguntas referidas al segundo sistema óptico:

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

Apendice II

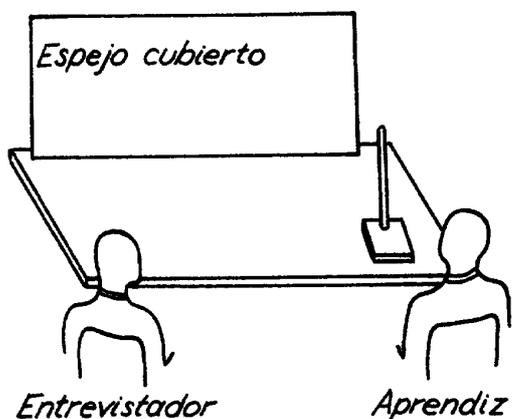
Experiencias con espejos planos^[8]

Se considera la siguiente situación experimental

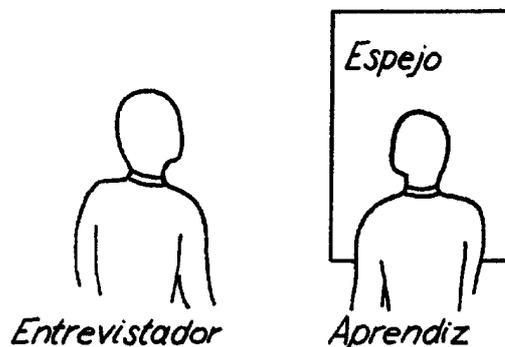


Se formulan las siguientes preguntas:

1. a) Por qué puede ver la imagen?, es ésta real o virtual? por qué; b) Puedo recibir ésta imagen una pantalla; c) pon tu dedo encima de donde está localizada la imagen?; d) si estuviera sentado donde yo (docente) estoy, y le pidiera que pongas su dedo encima de la imagen, lo pondría en el mismo lugar, o en otro diferente?
2. Cuando descubra el espejo, Podrá (el estudiante) ver la imagen?, podrá yo (el docente) verla?



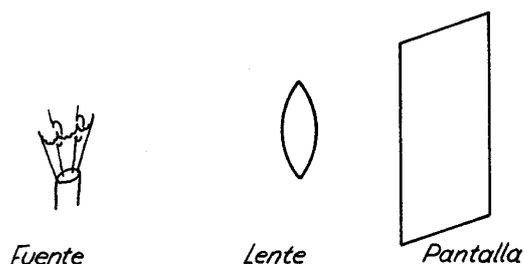
- 3 - Hay algo que pueda hacer para ver más de si mismo en el espejo?



Apendice III

Experiencias con lentes convergentes

Se considera el sistema óptico formado por una fuente, convergente y una pantalla.



Se formulan las siguiente preguntas:

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

Apendice IV

Ejemplo 1

Material pra discusión grupal

Una importante obra en el desarrollo de la Óptica es el “Tratado de Óptica” de I. Newton (Siglo XVII). Al comienzo de este libro Newton hace la siguiente afirmación:

1“Mi deseo en esta obra no es explicar las propiedades de la luz mediante hipótesis, sino exponerlas directamente para probarlas después por medio del razonamiento y la experiencias”.

Más adelante afirma:

“Si bien induzco que la luz es un cuerpo, no lo afirmo sin vacilación... yo sabía muy bien que las propiedades de la luz pueden comprenderse no sólo por la hipótesis que se me atribuyen (hipótesis corpuscular) sino también por muchísimas otras”.

Actividades: Analizar grupalmente estos textos a la luz de las concepciones actuales sobre la naturaleza de la luz y sobre los modos científicos de conocer.

Puede ser considerado Newton un científico moderno? Exponer argumentos a favor y en contra.

Ejemplo 2

Actividades: Hacer un análisis comparativo de las teorías de Demócrito, Pitágoras, Platón, Epicuro y Alhazen sobre la naturaleza de la luz en base al material que se enuncia a continuación.

Podrían proponer soportes empíricos y teóricos en los cuales se basarían estas concepciones?

En qué difieren fundamentalmente estas concepciones de las actuales concepciones aceptadas científicamente?

Material para discusión grupal

“La teoría de la luz presentaría en Demócrito un aspecto notablemente simple. Dicha teoría suponía corpúsculos redondos, indivisibles, exentos de toda propiedad sensible. Por otra parte, entre el objeto y el ojo se interponía siempre un fluido, concretamente, en este caso, el aire, pues Demócrito no profundizó nunca más allá. Así

, la luz no estaba constituida por una sustancia específica, sino que resultaba de una acción específica. Correspondía a rarefacciones del aire producidas y transmitidas por acciones mecánicas plenamente corpusculares...

Platón llegó a suponer que la visión resulta del encuentro de un rayo que parte del ojo con partículas emitidas por los cuerpos.

La existencia de un rayo que parte del ojo era admitida generalmente en la Antigüedad, concretamente por Pitágoras. Por lo demás, las teorías pitagóricas, en especial la de Euclides, llevaron, en Óptica Geométrica, a conclusiones plenamente legítimas. Para Platón, ese rayo o fuego visual estaba formado por partículas mayores o menores que los corpúsculos emitidos por los objetos materiales. Las impresiones luminosas, el negro, el blanco y los diferentes colores, resultaban de la dimensiones relativas de los corpúsculos emitidos por los objetos y de las partículas del fuego visual. La teoría de Epicuro, vulgarizada más tarde por Lucrecio, era de orientación completamente diversa: la superficie de los objetos deja escapar constantemente corpúsculos, tenues y rápidos, que atraviesan el aire conservando la forma de los cuerpos de que proceden. Tales son los “simulacra”, que producen la visión al encontrarse con el ojo... En el Siglo XI, con Alhazen y luego en el Siglo XII y XIII, registróse un modestísimo renacimiento de teorías de tono un tanto científico. Aquellos intentos de autonomía científica tenían, empero, pocos seguidores, de tal modo que, hasta el Renacimiento, la mayor parte de las teorías corpusculares de la luz seguían desarrollándose según los principios de Aristóteles. Hasta fines del Siglo XVI, la teoría de la luz se vio así jalonada por intentos interesantes, como los problemas que se planteaban, e incapaces también de aportar una solución precisa a los mismos. Hasta llegar a los trabajos de Kepler, se intentaron y describieron numerosos experimentos, todos ellos bastante mal interpretados y, por otra parte, muy poco interpretables”^[32].

Apendice V

Experiencias de interferencia y difraccion^[10]

Observaciones preliminares

1.1 - Observar con los ojos entrecerrados distintas fuentes luminosas (un tubo fluorescente, una lampara incandescente común, la luz de una linterna, una vela, una lampara de sodio, etc.) la luz del cielo, la luz difusa reflejada en las paredes o en la mesa de trabajo y reflejos especulares (por ejemplo la luz reflejada por una superficie cromada). Describir el efecto producido al girar la cabeza o al aproximarse o alejarse de la fuente.

1.2 - Repetir las observaciones a través de los dedos semicerrados de la mano, modificando la separación de los dedos o girando la mano.

1.3 - Observar a través de una tela (o de cualquier tejido como el de una cortina o de un paraguas) las distintas fuentes de luz, a diferentes distancias. Girar la tela para apreciar el efecto de la inclinación del tramado.

Cuestiones a discutir con los estudiantes:

1 - Por qué no se observan patrones estables de interferencia cuando se observa el cielo o las superficies difusoras? Se puede decir que, en estos casos, las ondas no interfieren?

2 - Los patrones que Ud. observa con los ojos entrecerrados se deben a la abertura del ojo o a la presencia de las pestañas?

3 - Cómo afectan las características de la fuente el patrón observado?

4 - Cómo se modifica la observación cuando el experimentador se aleja de la fuente? A qué se debe ese efecto?

5 - Por qué la sombra proyectada en el piso por un orificio en un toldo es circular? Es la misma situación que la sombra de los intersticios pequeños entre las hojas de la copa de un árbol?

6 - Qué sucede cuando se cambia el tramado del tejido a través del cual se observa la fuente de luz?

7 - Qué tienen en común el tejido de la tela, o los ojos entrecerrados?

Condiciones para obtener patrones observables en la experiencia de Young

1 - El alumno puede revisar las condiciones que debe satisfacer la fuente para ser considerada "puntual":

Partiendo de la condición de que la diferencia de caminos ópticos entre los haces que interfieren sea menor que la longitud de coherencia de la radiación, se obtiene la relación (1), la cual define las dimensiones que pueden ser toleradas en una fuente real sin pérdida apreciable (menor que 10%) de la visibilidad del patrón de franjas^[17]:

$$S < \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{L}{2d} \quad (1)$$

donde S = tamaño de la fuente, λ = longitud de onda media de la radiación, $2d$ = distancia entre ranuras, L = distancia de la fuente a las ranuras. Esta condición puede ser verificada con las estimaciones efectuadas por los alumnos en sus experiencias.

2 - El estudiante puede revisar las ecuaciones referentes a las características del patrón de franjas que obtiene en sus experiencias con dobles ranuras (o pares de orificios).

La posición de los máximos del "patrón de interferencia" está dada por la ecuación (2)

$$y = kD\lambda/2d \quad (2)$$

donde y = distancia desde el eje óptico hasta la posición de máximo en una pantalla, k = número de orden, D = distancia de la fuente a la doble abertura, $2d$ = distancia entre ranuras, λ = longitud de onda de la radiación, y el ancho de las franjas de este patrón por la ecuación:

$$\beta = D\lambda/2d \quad (3)$$

Cuáles son las limitaciones para la observación de este patrón? Además de las consideraciones sobre el tamaño de la fuente, se debe considerar el ancho de banda de la radiación incidente, la distancia entre las ranuras y la pantalla de observación y la separación entre ranuras.

Para observar un patrón nítido, sin pérdida considerable de contraste entre franjas, se deberá satisfacer la condición dada por la ecuación (4):

$$y = \frac{\lambda^2}{4} \Delta\lambda / \frac{D}{2d} \quad (4)$$

Esta relación establece una condición cuantitativa entre: las características de monocromaticidad de la fuente ($\lambda, \Delta\lambda$), las dimensiones del sistema experimental ($D, 2d$), y la extensión máxima del patrón observable que asegura las condiciones de coherencia en el sistema experimental.

Apendice VI

Experiencias de óptica física usando el disco compacto como difractor^[40]

1- Cuando se observa un CD o un long play, se perciben colores sobre su superficie.

a) Cómo se explica este fenómeno? Cómo se vincula el espectro observado con la estructura de la superficie del CD?

b) Por qué es necesario que la observación sea rasante para que aparezcan los colores de interferencia en la superficie del disco de polivinilo, en cambio en el CD pueden observarse desde cualquier posición?

2 - Con el CD que se le suministrará se estudiarán

algunos efectos de la luz al reflejarse sobre la superficie del mismo.

* De espaldas a una fuente distante de luz blanca, sostenga el CD a una distancia de aproximadamente 20 cm. de sus ojos, hasta que desaparezca la reflexión de la fuente de luz en la zona central del disco. Cómo se explica el patrón circular y la descomposición de la luz blanca que se produce en los bordes del CD?

* Analice cuál es la estructura responsable de producir el patrón de la luz reflejada.

* Estudie el modelo que permita determinar el orden de magnitud de la estructura que produce este patrón.

3 - Si se reemplaza la fuente de luz blanca por una fuente laser puede observarse el patrón reflejado sobre una pantalla y realizarse una medición con mayor precisión.

* Cómo explica la aparición de un patrón fino en la misma dirección de la pista, para cada posición de máximo?

3 - Transmiten la luz los metales? Observe a través de un CD una fuente luminosa y comente sus conclusiones.

4 - Considere Ud. importante introducir algunas aplicaciones tecnológicas de la Óptica en las clases? Comente y discuta sus conclusiones con sus colegas.