

PARADIGMAS EN EL APRENDIZAJE DE LA ÓPTICA FÍSICA:

RESULTADOS DE UNA EXPERIENCIA PILOTO

COLOMBO DE CUDMANI, Leonor
SALINAS DE SANDOVAL, Julia
PESA DE DANON, Marta

Instituto de Física
Facultad de Ciencias Exactas
y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán

RESUMEN: En la práctica educativa se detectan problemas en la capacidad de los alumnos para comprender e interpretar experiencias y observaciones de interferencia, difracción y polarización, etc.

Los núcleos de dificultad parecen ser: por un lado, la aplicación de un modelo muy simplificado de onda infinita y linealmente polarizada, de amplitud y frecuencia constantes y por el otro, una construcción incompleta del concepto de coherencia luminosa.

Se analiza una encuesta administrada a profesores de Física y los resultados de una experiencia piloto que parecen confirmar las hipótesis.

I.- Introducción - Detección de la anomalía

La experiencia docente en un laboratorio de Física Experimental I y II pone de manifiesto que los alumnos del ciclo básico de las carreras de ingeniería y licenciatura en Física muestran serias dificultades para alcanzar conductas importantes en un aprendizaje significativo (Lozano, Cárdenas, Cudmani, 1985), (Cudmani, Lozano, Cárdenas, 1985) de la óptica física, tales como comprender, analizar y evaluar experiencias sencillas de *Interferencia* y *Difracción* cuando los resultados dependen de las:

- * dimensiones del sistema
- * características del detector empleado
- * características de la fuente luminosa

Estos aspectos en general no son explícitamente considerados en los textos usuales de física básica, en los que sólo aparecen menciones respecto a las condiciones que deben cumplir los elementos antes enunciados, sin aclarar el por qué de esas exigencias.

Además de las confusiones y dificultades observadas en los estudiantes, conductas similares se presentaban en los docentes de la

cátedra y en las propias dificultades de los autores de este trabajo para interpretar coherentemente los resultados de las experiencias.

Se organizó así con los docentes de la cátedra, un taller para estudiar y profundizar esta problemática. Luego de casi un año de reuniones semanales, de discusiones, se tomó conciencia de que gran parte de las dificultades provenían de la forma en que se tratan estas cuestiones en la bibliografía que, aunque excelente en muchos casos, en general no señala en forma clara y explícita los límites de los modelos, no integra los distintos comportamientos, que se estudian independientemente entre sí. Por ejemplo: raramente se analiza la influencia del estado de polarización en la interferencia y difracción; cuando se suman ondas suele suponerse linealmente polarizadas.

Textos tales como el Curso de Física de Berkeley (Crawford, 1971) y otros fueron de inestimable ayuda para clarificar e integrar conceptos.

Así, a partir de las dificultades del propio aprendizaje de los autores y de los colegas de la cátedra, del análisis de la bibliografía y de las conductas de los estudiantes, fueron generándose las hipótesis de este trabajo.

A fin de explicitar las dificultades antes mencionadas se elaboró un conjunto de preguntas introductorias a la óptica física que se incluyen en el Anexo I. Al presentarlas a alumnos que ya habían recibido instrucción tradicional en óptica, se observó que los estudiantes no manifestaban mayores dificultades para responder a preguntas en las que la situación experimental permitía el uso del modelo simplificado para la onda luminosa caracterizado por un tren infinito de amplitud, frecuencia, fase inicial y estado de

polarización, independientemente del tiempo. (Onda monocromática ideal). Tal es la situación de las preguntas (1) a (2a) del Apéndice I.

Los problemas aparecían cuando, como en los ejemplos (2b) a (11) de las preguntas introductorias, la respuesta exige al análisis de las magnitudes espaciales y temporales características de la radiación luminosa, así como del rol que juegan el rango de frecuencias presente, el estado de polarización, el dimensionamiento del sistema físico, etc. Surgen así, las limitaciones del paradigma de la onda monocromática ideal que reduce el concepto de coherencia a una esquemática exigencia de "diferencia de fase constante" de la radiación luminosa.

Las hipótesis de trabajo de la investigación desarrollada consistieron en atribuir estas dificultades a:

* la gran internalización y permanencia alcanzada por el modelo simplificado de onda luminosa monocromática ideal, que conduce a que se lo utilice fuera de sus límites de validez.

* Una construcción pobre e incompleta del concepto de coherencia luminosa.

A fin de disponer de elementos más objetivos para evaluar estas hipótesis se elaboró un test diagnóstico (Apéndice II) que fue suministrado a alumnos y docentes del laboratorio. Los primeros resultados obtenidos parecían confirmar las hipótesis.

El interés por reunir información sobre esta problemática llevó a planear y realizar el taller "¿Entendemos el concepto de coherencia luminosa?" durante la V Reunión Nacional de Educación en la Física, (Mar del Plata, septiembre de 1987). En él participaron 24 docentes de física de nivel medio, terciario y universitario básico, provenientes de distintas provincias de nuestro país y del Uruguay. El taller fue teórico-experimental,

con 30 horas de duración.

Este taller toma en este trabajo las características de un ensayo piloto que proporcionó elementos importantes para el diseño de otras experiencias más masivas y con muestras de estudiantes, que se están efectuando y evaluando y que se analizarán en trabajos futuros.

Toda esta problemática de aprendizaje fue abordada desde distintos ángulos por un grupo de docentes de la U.N.T. que, trabajando en estrecha colaboración realizaron un complejo de tareas que están cristalizando en diversas publicaciones complementarias (Cudmani, Pesa, Salinas, 1989), (Jean, Colombo, 1989), (Cudmani, Fontdevila, Colombo, 1988).

Este trabajo pretende mostrar los primeros intentos de convalidar las hipótesis así como los resultados de la experiencia piloto realizada.

II.- Detección de núcleos de dificultad.

Test diagnóstico pre-instruccional

Previo al desarrollo del taller se impartió el test diagnóstico del Apéndice II a los 24 docentes participantes, muchos de los cuales enseñan óptica física en los ciclos básicos universitarios o en institutos del profesorado.

Los encuestados se identificaron con un seudónimo que conservaron en el test impartido a posteriori del taller.

II₁.- Procesamiento y análisis de las respuestas dadas al test pre-instruccional

-Item 1

El cuadro A muestra los resultados de la encuesta. En general las respuestas no fueron justificadas o lo fueron muy pobremente. La justificación que aparece con cierta frecuencia es "porque $i - i$ debe ser igual a constante".

CUADRO A

Opciones	Afirmativo	Negativo	No contesta
a	1	11	12
b	7	6	11
c	7	5	12
d	20	0	4

d = 10
b, c y d = 4
c y d = 3
b y d = 3

La gran mayoría (20/24) se inclina por relacionar coherencia con "diferencia de fase constante" de los cuales sólo 4 relacionan también con frecuencia y estado de polarización, 3 con igualdad de frecuencia y otros 3 con estado de polarización.

- Item 2

Como es de esperar, la mayoría (20/24) asocia luz coherente con Láser y luz incoherente con sol (17/24) y lámpara incandescente

(13/24). Estos estereotipos serán sin duda fuentes de dificultades para comprender e interpretar experiencias como la de Young u observaciones de patrones interferenciales obtenidos con fuentes convencionales.

En ninguna secuencia individual de respuestas o en las justificaciones, en general muy escuetas y poco significativas, se pone de manifiesto la idea de un gradualismo respecto a la propiedad de coherencia en las diversas fuentes.

CUADRO B

Grado de Coherencia	Sol	Láser	Lámpara Incandescente	Lámpara Mercurio	Lámpara Neón
Incoherente	17	1	13	4	6
Parcialmente coherente	2	1	3	12	8
Coherente	1	20	1	1	0
No Contesta	4	2	7	7	10

La respuesta "parcialmente coherente" sólo se asocia en algunos casos con lámparas de descarga de gases (Mercurio (12) y Neón (8)), probablemente por su uso habitual en laboratorio como fuente "más coherente" que el Sol o la lámpara incandescente.

- Item 3

En la graficación (17/24) emplearon el esquema tradicional de onda infinita, lineal

mente polarizada y de intensidad y frecuencia constante; 2 no graficaron pero expresaron el mismo modelo con palabras; 5 no respondieron.

- Item 4

El cuadro C muestra el número de docentes que se inclinaron por las opciones: "un tren de ondas" (1T); "un par o más de trenes". (2T); "ambas posibilidades" (1T ó 2T) y los que no responden.

CUADRO C

1 T	2 T	1 T ó 2 T	No contesta
7	14	0	3

en ningún caso hay justificaciones para la respuesta.

- Item 5

En las opciones que hicieron los encuestados fue posible detectar 3 categorías pertinentes al problema que nos ocupa: aquellas que confunden "longitud de tren" con "longitud de

onda", los que "no confunden", aun cuando no tengan una idea cuantitativa muy clara del orden de magnitud y los que "no contestan". El cuadro D muestra los resultados.

La confusión es algo menor en el Láser, pero aún sigue siendo muy importante. En 5 casos se indica incluso que la "longitud de onda del tren es de 6.328 Å".

CUADRO D

	Confunden 1 con	No confunden 1 con	No contestan
Luz Natural	21	3	0
Luz Láser	9	11	4

- Ítem 6

El cuadro F muestra los resultados del ítem 6, categorizados, según las opciones que hacen los docentes y donde se incorpora D = distancia entre ranuras. Aún cuando el cues

tionario no lo pregunta, algunos lo incluyeron en sus respuestas.

La 2da fila, totaliza todas las repuestas que incluyen a cada elemento.

CUADRO F

Elemento	a	D	L	d	a y L	a, D, L y d	No contestan
Número de respuestas afirmativas	2	1	1	1	5	3	11
Totales	10	4	9	3			

Hay una gran disparidad de respuestas respecto al rol que juegan las distintas longitudes en la coherencia de las ondas que inciden en las ranuras. Las que aparecen con mayor relevancia son las de a = ancho de las rendijas, y la de L distancia de fuente a rendija. Curiosamente el tamaño de la fuente es muy poco mencionado (3/24) pese a que la condición de "fuente puntual" es la más conocida y citada en la bibliografía sobre la experiencia de Young.

II. - Conclusiones de análisis de las respuestas dadas al test pre-instruccional

Los ítems 1, 2, 4 y 6 ponen en evidencia errores, confusiones y esquematizaciones muy simplificadas del concepto de "coherencia de ondas luminosas". En el ítem 1 se ve que si bien el nexo entre "coherencia" y "diferencia de fase constante" es muy fuerte, no se tiene en claro el rol que juegan intensidad, frecuencia y estado de polarización. Esto se confirma con las respuestas del ítem 4.

Las respuestas del ítem 2 muestran que la comprensión del grado de coherencia de las fuentes reales es superficial y estereotipado. El ítem 6 muestra el grado de confusión respecto de los roles que desempeñan las distintas longitudes en juego, a fin de lograr haces coherentes, en las más conocidas de las experiencias en óptica Física, la experiencia de Young.

Los ítems 3 y 5 por su parte, muestran el alto grado de internalización del modelo de onda infinita, linealmente polarizada, con amplitud y frecuencia constantes, para representar las ondas luminosas. La confusión de longitud de onda con longitud de tren 1, es resultado de esta simplificación; es como si la única longitud que pudiera asociarse a dicha onda fuera la longitud de onda.

En general la índole de las respuestas parecen mostrar que las dificultades en el aprendizaje de la Óptica Física se originan fundamentalmente en las metodologías con que se desarrolla la instrucción académica sobre el tema, que incluye la forma en que se lo

trata en gran parte de la bibliografía más usada. Esto establece una diferencia con lo que ocurre con la mayoría de las conceptualizaciones previas o contextualmente erróneas, estudiados en los últimos tiempos en campos como la mecánica, la óptica geométrica, el calor, etc., que se han estructurado a través de múltiples experiencias y observaciones cotidianas (Cudmani - Cudmani, 1988).

En la enseñanza tradicional de los fenómenos de interferencia y difracción se observa que, en general:

* el *Modelo Teórico* con que se analiza la obtención de los patrones trabaja con la ecuación de una onda monocromática ideal sin señalar los *límites* de validez de tal modelo y, en particular, sin destacar las limitaciones que imponen:

- el tamaño de la fuente
- el grado de monocromaticidad de la radiación luminosa

- el tiempo y área de registro del detector
- las dimensiones geométricas del sistema;

* los *sistemas experimentales* con que se trabaja se diseñan de modo de *garantizar* las condiciones de coherencia en el sistema, recurriéndose al empleo de:

- fuentes *Láser*, con las que se aseguran coherencia espacial y temporal para las dimensiones de los orificios, ranuras, etc., habitualmente empleados;

- otras fuentes especiales (de *descarga en gases*, por ejemplo), en conjunción con orificios, ranuras, etc. de dimensiones cuidadosamente seleccionadas para asegurar la obtención de patrones nítidos.

Con esta manera de organizar la instrucción parece razonable que se obtengan resultados como los de la evaluación diagnóstica ya mencionada, resultados que revelan un aprendizaje *no significativo* del tema.

III.- Metodología empleada

Se toma como marco de referencia un modelo constructivista, según el cual el aprendizaje no es un producto si no un proceso en el que

quien aprende construye estructuras de conceptos, significativos y relaciones. En este contexto, "el *aprendizaje significativo* es un proceso a través del cual una nueva información se relaciona de manera no arbitraria y sustantiva a un aspecto relevante de la estructura cognitiva del individuo" los llamados *subsuno*res (Moreira, 1983).

Se trató de planificar la situación de aprendizaje de modo que las etapas de *diferenciación progresiva* y *reconciliación integrativa* (Moreira, 1983) produjeran la modificación o cambio conceptual que permitiera superar las dificultades que el test diagnóstico pre-instruccional puso de manifiesto o por lo menos sacar a la luz los límites de validez del modelo simplificado.

Para diseñar las estrategias metodológicas y los recursos didácticos se tomó como eje el concepto de coherencia luminosa. Se hizo así pues se consideró que su reelaboración en profundidad constituye un recurso eficiente para hacer surgir la inconsistencia del paradigma que se pretende superar (cuando se lo aplica en situaciones fuera de sus límites de validez).

Como recursos didácticos se usaron:

- * Un texto redactado especialmente como complemento de la bibliografía tradicional. Este texto se proporcionó a los participantes después de haber tomado el test diagnóstico (1).

- * Un conjunto de experiencias sencillas de bajo costo con fuentes convencionales (Jean, Colombo, 1989).

- * Un conjunto de experiencias de óptica láser.

- * Otras experiencias no convencionales sobre óptica de Fournier tales como la que se describe en (Cudmani, Fontdevila, Colombo, 1988).

Los pasos metodológicos pueden resumirse en:

- * Emplear como *subsuno*res las interpretaciones espontáneas que los participantes del taller han realizado de fenómenos de interferencia y difracción presentes en experiencias cotidianas (observación de fuentes luminosas

(1) Una versión corregida, ampliada y modificada de este texto está en prensa en la Imprenta de la Universidad Nacional de Tucumán bajo el título: "Óptica Física Básica, estructurada alrededor del Concepto de Coherencia Luminosa".

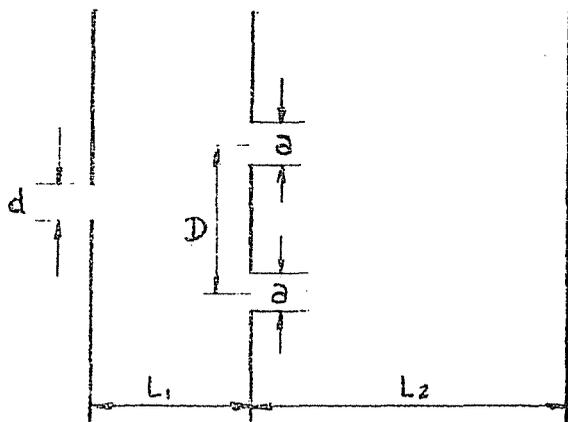
Un análisis de la estructura y propósitos de este libro se realiza en otro trabajo de los autores (Cudmani, Pesa, Salinas, 1989).

lejanas a través de ojos entrecerrados, películas de aceite, pompas de jabón, etc.); * plantear el conjunto de experiencias sencillas que servirán como *organizadores previos*, (Ausubel, 1978), .permitiendo reforzar las observaciones espontáneas y plantear los interrogantes más generales;

* favorecer el proceso de *diferenciación progresiva* de las variables que determinan el grado de coherencia de la radiación luminosa en un dado sistema experimental, a partir de la observación cuidadosa y el análisis de los resultados de dichas experiencias sencillas y de las observaciones espontáneas;

* colaborar en el logro de una *reconciliación integrativa* entre la conceptualización previa de los participantes, sus observaciones en experiencias cotidianas, los resultados obtenidos en las experiencias sencillas realizadas en clase y la conceptualización emergente de modelos que permitan caracterizar las emisiones espontáneas y estimulada de radiación luminosa. A través de esta reconciliación integrativa es posible comprender las interrelaciones entre las dimensiones del sistema y las características de la fuente y del detector en la determinación del grado de coherencia alcanzado.

Parece interesante destacar que entre las múltiples experiencias sencillas que es posible realizar, el sistema de la doble abertura (Young) con fuentes convencionales se mostró como uno de los más económicos y fructíferos para esta propuesta.



En efecto, la versatilidad del sistema y la sencillez de los elementos involucrados permitió *estudiar ordenada y sistemáticamente* cómo influyen, sobre los patrones obtenidos (Jaen, Colombo, 1989):

- * el tipo de fuente (tradicionales, láser);
- * las dimensiones de la fuente (d);
- * las dimensiones del sistema (L_1 , a , L_2 , D).

Para explicar los resultados obtenidos en las experiencias así realizadas, fue necesario *encarar la búsqueda de modelos de emisión*:

- * espontánea
- * estimulada
- de pulsos cortos, de extensión espacial y temporal finita y polarizados al azar que permitieron comprender las limitaciones que impone:
- * las dimensiones y monocromaticidad de la fuente
- * las dimensiones del sistema experimental
- * el tiempo y el área de respuesta del detector

Para ello, fue necesario profundizar en la comprensión de conceptos tales como (Hecht, 1977) (Crawford, 1971) (Landsberg, 1984):

- * coherencia temporal (longitudinal)
- * coherencia espacial (transversal)
- * longitud de coherencia
- * tiempo de coherencia
- * ancho de banda - grado de monocromaticidad
- * visibilidad de las franjas de interferencias
- * grado de coherencia

Las situaciones de aprendizaje se resolvieron por breves exposiciones informativas de los docentes y trabajos en grupo de los participantes con la coordinación de docentes auxiliares entrenados que orientaban la actividad.

Estas actividades consistieron tanto en la realización de experiencias como en la elaboración de cuestionarios que incluían no sólo las preguntas introductorias (Apéndice I) sino también otros interrogantes que obligaban a una mayor precisión cuantitativa, tales como:

- el tamaño de la fuente?
- las dimensiones del sistema?. En caso afirmativo, estime el orden de magnitud del máximo ancho de banda de la radiación luminosa admisible en un arreglo experimental específico a fin de no perder la visibilidad de las franjas.

* ¿Las características del detector influyen en sus respuestas a las preguntas anteriores? ¿Puede cuantificar ese efecto?.

Las respuestas a interrogantes de este tipo sirvieron para poner en evidencia que se había logrado una comprensión más profunda de los fenómenos de la Óptica Física que la conseguida con el modelo simplificado. No sólo se obtuvieron respuestas para la problemática que condujo a la búsqueda del nuevo paradigma sino que surgió una multiplicidad de preguntas, de nuevas problemáticas que el anterior paradigma no permitía ni siquiera plantear.

IV.- Test post-instruccional

Al finalizar el taller se volvió a suministrar a los docentes participantes la misma encuesta que se había utilizado como test diagnóstico con el objeto de evaluar la persistencia del paradigma.

A pesar de que el taller fue desarrollado en un lapso corto (30 horas de trabajo teórico-experimental) se esperaba que el cambio conceptual podría lograrse ya que se trataba de un grupo de docentes de Física dedicados a la enseñanza de la Óptica que habían elegido realizar este taller entre múltiples opciones y que por lo tanto evidenciaban una fuerte motivación por el tema.

Durante el taller no se discutieron ni elaboraron las preguntas del test en forma explícita y específica, pero toda la temática abordada estaba muy relacionada con ellas.

Si bien no se esperaban de este estudio resultados muy concluyentes respecto al cambio de paradigma, sí en cambio se lo consideró una herramienta valiosa para detectar el no cambio, la persistencia de los errores conceptuales originados en la explicación de un modelo fuera de sus límites de validez.

IV.- Análisis de los resultados del test post-instruccional

- Item 1

Se observa que, en lo que se refiere a la intensidad tres cambiaron de "negativo" a "afirmativo" aclarando que "para que pueda observarse" (SIC).

Respecto a la secuencia 5 que antes no contestaron ahora contestan "afirmativamente" y dos cambian de "negativo" a "afirmativo".

En lo que se refiere a la polarización,

tres que no contestaron cambian a "negativo" y dos a "afirmativo".

La "constancia de fase" es aceptada por toda la muestra.

- Item 2

En general hay muy poco cambio, cinco que no contestaron el pre-test pasaron a la respuesta más común: Sol-incoherente, Láser-coherente.

Sólo cuatro aclaran que "ninguna fuente real tiene tiempo de coherencia y longitud de coherencia infinito".

- Item 3

Los que se inclinan por el esquema clásico son ahora 19.

Los que antes no contestaron se inclinan ahora también por ese modelo.

- Item 4

Hay un cambio significativo pues de 24 que contestaban cualquiera de las tres opciones sin justificar hay ahora 10 que justifican correctamente.

- Item 5

Dos que contestaron incorrectamente pasan a responder correctamente y tres que no contestaron también, es decir que hubo 5 cambios positivos. En lo que en ambos test contestaron correctamente se observa un mejor ajuste en cuanto a los órdenes de magnitud elegidos (más próximos a valores reales), así por ejemplo lo que antes contestaban que el tren del Láser era "muy grande" ahora responden "del orden de 10 cm".

- Item 6

Es en el ítem en que mayores cambios positivos se observan. Todas las respuestas se han complejizado pues en todos los casos, el número de características del sistema experimental que se consideran relevantes es mayor. El papel que juegan (a), (L) y (d) aparece ahora con la misma frecuencia (a (20); L (21); d (20)) y las justificaciones son correctas en la mayoría de los casos. Se nota sin embargo una mayor dificultad en lo que se refiere a la influencia del estado de polarización.

IV.- Conclusiones del análisis de los resultados del test post-instruccional

Los cambios en los ítems 3 y 5, muy poco significativos, muestran la fuerte persistencia del modelo simplificado de onda infinita. Se trata de una imagen representacional muy arraigada, aún en docentes experimentados.

Esto es comprensible, pues este modelo simplificado permite abordar con éxito la solución de muchos problemas y la interpretación de muchas situaciones experimentales. Tal es el caso de la situación que plantea el ítem 3. La mayor parte de los textos bibliográficos usados en la práctica educativa, reproducen este esquema. Pero su uso acrítico, sin tener presente sus límites de validez y su grado de abstracción y simplificación dificulta la comprensión e interpretación de problemas de óptica física que no caen dentro de esos límites.

Los cambios en los ítems 1, 2, 4 y 6 muestran que, pese al poco tiempo empleado en la instrucción, la conceptualización relacionada con el concepto "coherencia" ha mejorado, solo se ha mantenido con mayor persistencia el estereotipo respecto al grado de coherencia de las fuentes. Esto podría ser consecuencia de la persistencia del modelo simplificado de onda, subyacente. (Recordemos que son resultados obtenidos con docentes de física).

El análisis del rol de cada una de las magnitudes en juego en la experiencia de Young respecto de la coherencia parece ser un buen punto de partida para usar como organizador previo.

Es notable además cómo después de la instrucción se recurre simultáneamente, según la índole de la situación problemática que se plantea, sea al paradigma de onda infinita, polarizada, etc. como al del *tren* de longitud y tiempo de coherencia finito.

V.- Conclusiones generales

Los resultados de la experiencia piloto parecen confirmar las hipótesis generales formuladas que atribuían las dificultades para comprender y aplicar los conceptos de la óptica física a la persistencia y el empleo acrítico de un modelo simplificado de onda luminosa y a una incompleta elaboración del concepto de coherencia.

En efecto, los resultados de la encuesta post-instrucción muestran persistencias de concepciones contextualmente erróneas, aún cuando la experiencia se realizó con una

maestra atípica para la que se podría esperar que fuera más sencillo producir el cambio conceptual, lo que no se logró totalmente: se trataba de docentes de física (no estudiantes), fuertemente motivados para el aprendizaje, que desarrollaron un intenso y eficiente trabajo de reconstrucción conceptual durante el taller piloto.

Así mismo, la experiencia piloto parece mostrar que el concepto de coherencia luminosa empleado como eje estructurador del aprendizaje de la óptica física, puede facilitar el cambio de paradigma en aquellas situaciones en que el modelo simplificado excede sus límites de aplicación. Así parecen mostrarlo conductas observadas en los estudiantes, en las respuestas dadas a los problemas de ejercitación y a la evaluación final.

La motivación generada por las observaciones realizadas con elementos muy sencillos, como tarjetas perforadas, sistemas de ramuras fabricados por los participantes, etc. (Jaen - Colombo, 1989), fue notable y parece mostrar que ellas constituyen un valioso instrumento para relacionar las experiencias diarias y las observaciones de situaciones cotidianas con la comprensión de modelos y teorías de alto grado de abstracción como son los de la coherencia luminosa.

La incorporación de experiencias sobre temas de gran actualidad y transferencia en óptica física, tales como holografía, filtrado espacial, speckle, etc., parecen haber contribuido a generar la motivación para que los participantes continúen profundizando en estas problemáticas.

La posibilidad de disponer de la información pertinente por medio de un texto especialmente elaborado como complemento de la rica bibliografía sobre el tema (Cudmani - Pesa - Salinas, 1989), fue muy valorada por los participantes y todo parece indicar que el texto se convertirá en un valioso recurso didáctico en la experiencia masiva con estudiantes.

Los resultados obtenidos representan sólo un primer control para diseñar una experiencia masiva con estudiantes. La propuesta está siendo implementada actualmente con alumnos de segundo año de las carreras de ingenierías y licenciatura en física en los laboratorios de física experimental I y II de la Universidad Nacional de Tucumán. Los resultados serán analizados en próximos trabajos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los docentes que participaron del taller piloto, quienes con su entusiasmo y motivación aportaron valiosos elementos a esta experiencia.

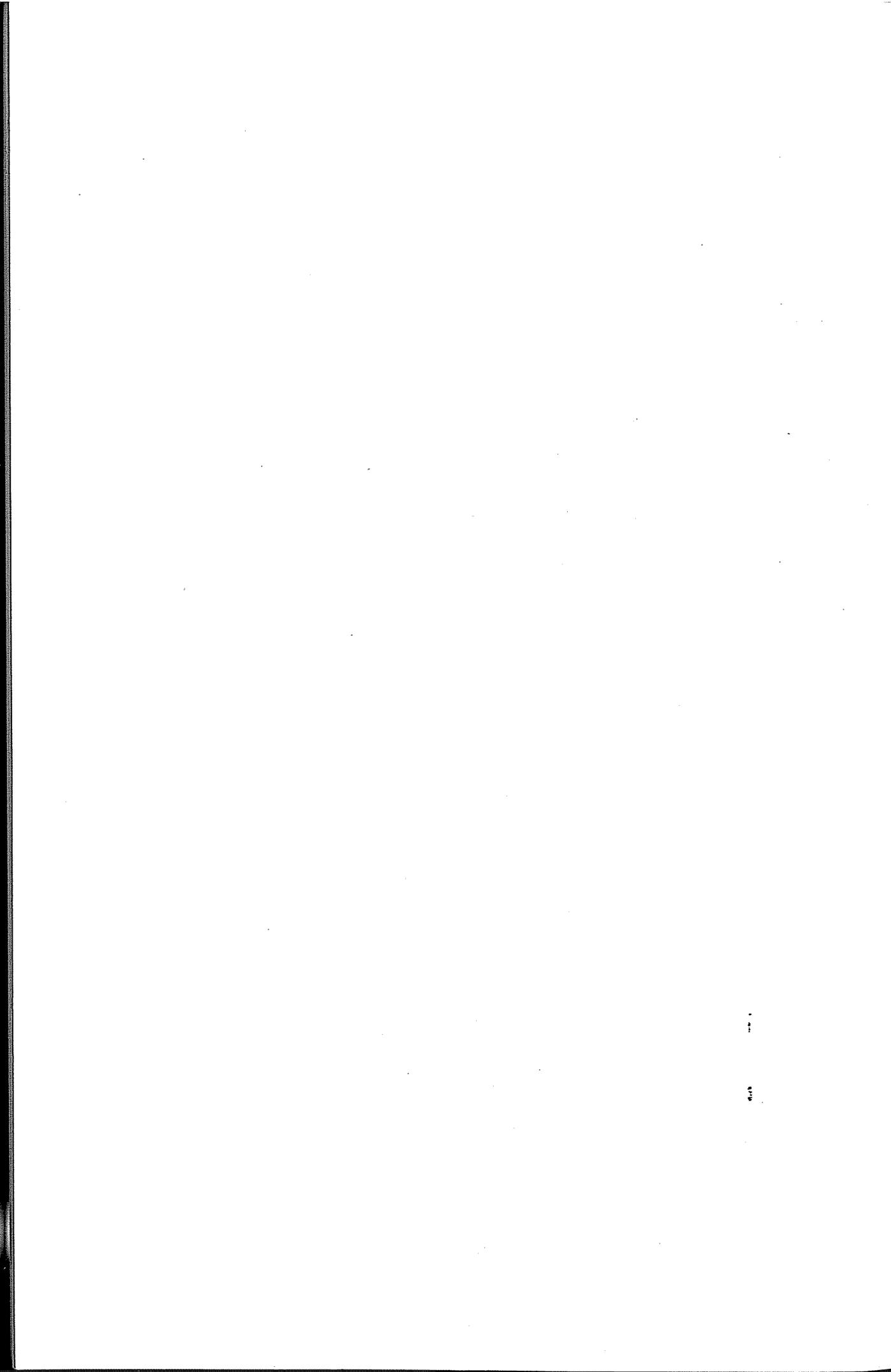
Bibliografía

- AUSUBEL - NOVAK - HANESIAN - (1978) - Educational Psychology: "A cognitive view" - 2da Edición - Holt, Rinehart and Wiston - New York.
- COLOMBO de CUDMANI, L. - CUDMANI, C. - "incidencia de la instrucción sobre los errores conceptuales" - Enseñanza de las Ciencias - 6(2). - 156-160, Barcelona, 1988.
- CUDMANI, L. C. de - FONTDEVILA, P. - COLOMBO, E. - "Filtrado espacial y óptico de Fourier" - Revista Española de Física - Vol. 2 - Nº3 - 1988.
- CUDMANI, L. C. de - LOZANO, S. R. de - CARDENAS, M. - "El problema de los grados de generalidad de objetivos en el aprendizaje de la Física Básica". - Memorias REF IV - Tuc., 1985.
- CUDMANI, L. C. de - PESA de DANON, M. - SALINAS de SANDOVAL, J. - "Presentación del texto "OPTICA FISICA BASICA": estructurado alrededor del concepto de coherencia". Enviado a REF VI - Bariloche, 1989.
- CRAWFORD, F. - "Berkeley Physics Course" - Vol. 3 - Edit. Reverté - 1971.
- DRIVER, R. - (1981) - "Pupil's alternative frameworks in Science" - European Journal of Science Educ. - 3 (1) 93 - pág. 100.
- DRIVER, R. - (1988) - "Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias" - Enseñanza de las ciencias - Vol. 6 - Nº2 - Valencia - España.
- DITCHBURN, R. W. - "Light" - Wiley - N.Y. - 1963.
- GIL, D. - CARRASCOSA, J. - (1985) - "Science learning as a conceptual and methodological change" - Eur. Journal of Scienc. Educ. - 7(3).
- GILBER - WATTS - OSBORNE - (1982) - "Students conceptions of ideas in mechanics" - Physics Education - Vol. 17 - pp 62-66, 1982
- HECHT - ZAJAC - "Optica" - Fondo Educativo Americano - EVA, 1977.
- JAEN, M. - COLOMBO, E. "Optica Física: experiencias introductorias tomando como eje el concepto de coherencia". - En prensa, 1989.
- KHUN, T. - (1985) - "La estructura de las revoluciones científicas" - Fondo de cultura económica - 6ta Ed. - México.
- LANDSBERG, G. S. - "Optica" - (Tomo I y II) - Edit. Mir. - 1984.
- LOZANO, S. R. de - CARDENAS, M. - CUDMANI, L. C. de - "Análisis y adecuación de Taxonomías". - Memorias REF IV - Tuc. 1983.
- MOREIRA, M. A. - (1983) - "Una abordagem cognotivista ao ensino da Física". - Editora da Universidades - Porto Alegre - Brasil.
- MOREIRA, M. A. - (1985) - "Atividade docente na Universidade" - D. C. Luzzatto Ed. - Ed. da FURG.
- POSNER, G. J. y Otros - (1982) - "Acomodation of a scientific conception towards a theory of conceptual change". - Science Education - 66 (2) - pág. 211-227.
- SNELL, T. J. - (1987) - "Cognitive Psychology and conceptual change: Implications for teaching Science". - Science Educ. - 71 (2) - E. S. A. 1987.

APENDICE I

- Preguntas introductorias

- 1.- a) ¿Qué ocurre cuando la luz proveniente de fuentes diferentes no produce un patrón observable de luz y oscuridad?
b) ¿Por qué no se observan zonas claras y oscuras en las paredes, techo y piso de esta aula?
c) ¿Podemos decir que en los casos a) y b) "las ondas no interfieren"?
- 2.- a) ¿Por qué cuando la luz penetra a través de aberturas tales como puerta, ventanas, ventiladores, etc., no se observan patrones de difracción?
b) ¿Por qué una rendija puede proyectar, o una sombra geométrica, o una figura de difracción sobre la pantalla? ¿Podría una misma rendija producir ambos efectos? ¿Y la misma fuente de luz? ¿Depende la respuesta de la distancia entre la ranura y la fuente?
- 3.- a) ¿Cuándo podemos considerar que una fuente luminosa es "puntual"?
b) ¿Para qué lapsos se puede hablar de observaciones "instantáneas"?
- 4.- a) ¿Hay diferencia física entre los fenómenos de difracción y de interferencia?
b) ¿Cuáles son las condiciones que deben cumplirse para obtener patrones observables de difracción y/o interferencia?
c) ¿Cómo diferenciamos, al observar, entre los fenómenos de interferencia y de difracción?
- 5.- ¿Por qué se tiene patrones nítidos en películas delgadas, pero se los pierde en películas gruesas?
- 6.- ¿Para qué se necesita el primer orificio en la experiencia de Young? ¿Debe necesariamente ser "pequeño"? ¿Cuán "pequeño"?
- 7.- ¿Cómo es posible que una fuente de luz natural pueda darnos patrones nítidos en algunos casos? ¿Qué tienen de especial la tela del paraguas, la cortina transparente, nuestros ojos entreserrados para que al observar una fuente lejana sea posible obtener patrones nítidos?
- 8.- ¿A qué se debe que en el interferómetro de Michelson con fuente Láser se desdibujen los patrones cuando las longitudes de ambos brazos son muy diferentes entre sí? ¿Cuanto es ese "muy diferente"?
- 9.- a) ¿Qué entendemos por "ondas coherentes"?
b) ¿Es necesario que dos ondas tengan la misma frecuencia para ser coherentes?
- 10.- La radiación emitida por un átomo tiene un estado de polarización definido:
a) Un haz coherente, ¿es necesariamente polarizado?
b) Un haz polarizado, ¿es coherente?
c) La radiación que emite una fuente Láser, ¿Es necesariamente polarizada?
- 11.- a) ¿Qué entendemos por "interferencia de luz polarizada"?
b) Para que dos ondas luminosas originen patrones de interferencia estables, observable, ¿deben estar polarizados?
c) Los haces emergentes de un trozo de calcita, ¿darán patrón estable de interferencia al iluminar simultáneamente una pantalla?



APENDICE II

- Test pre y post instruccional

1.- Cuando decimos que tenemos "luz coherente", ¿estamos afirmando que tenemos:

- a) igual intensidad?
- b) igual frecuencia?
- c) igual estado de polarización?
- d) constancia de fase?

Justifique cada una de sus respuesta, sean afirmativas o negativas. (No hay necesariamente una sola opción válida).

2.- En cuáles de las categorías de la columna B clasificaría las fuentes que se mencionan en la columna A:

A	B
- luz solar	- coherente
- luz de láser	- parcialmente coherente
- luz de lámpara incandescente	- incoherente
- arco de mercurio.	
- lámpara de Neón	

Justifique cada clasificación efectuada.

3.- Represente gráficamente ondas que llegan a un punto P de una pantalla y que producirán:

- a) máxima intensidad
- b) intensidad cero
- c) intensidad intermedia

4.- La coherencia es una propiedad de:

- a) un sólo tren de ondas
 - b) un par o más de trenes
- ¿Por qué?

5.- La longitud de un tren de ondas de luz "natural" es del orden de:

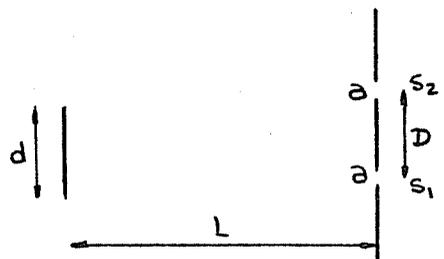
1 Km. - 1 m - 1 cm. - 1 mm. - 10^4 nm.

marque el que más se aproxima al que Ud. supone.

¿Cuál sería su respuesta si se tratara de luz láser?.

6.- Suponga un filamento incandescente y a continuación dos ranuras como se ilustran en la figura. Las condiciones que deben cumplirse para que las ondas que inciden sobre S_1 y S_2 sean coherentes dependen:

- * del ancho de las rendijas (a)
- * del estado de polarización de la luz incidente
- * de la distancia fuente-ranuras (L)
- * de la longitud del filamento (d)



Justifique cada una de sus respuestas, sean éstas afirmativas o negativas.