

---

# OBSTÁCULOS EN EL APRENDIZAJE DE LA POLARIZACIÓN LUMINOSA: UNA EXPERIENCIA CON PROFESORES DE FÍSICA

---

*Leonor Colombo de Cudmani*

*Marta Pesa*

Instituto de Física -Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología

Universidad Nacional de Tucumán

Tucumán -Argentina

## Resumen

Este trapajo se origina a partir del analisis de los resultados obtenidos en un taller de formación y actualización docente cuyo objetivo era transferir resultados de la investigación educativa en estrategias de aprendizaje de la óptica física y en particular de los fenómenos relacionados con la polarización de la luz.

Se detectan fuertes obstáculos que dificultan la comprensión de los fenómenos estudiados. Estos obstáculos parecieron estar relacionados fundamentalmente con una incorrecta construcción de las concepciones básicas sobre ondas en general y sobre ondas electromagnéticas en particular, así como con formas precientíficas de razonamiento, similares a las detectadas en trabajos anteriores en otras áreas de la física.

## I. Introducción

Este trabajo se origina a partir del análisis de los resultados obtenidos en un taller de formación y actualización docente cuyo objetivo era transferir resultados de la investigación educativa en estrategias de aprendizaje de la Óptica Física y en particular de los fenómenos relacionados con la polarización de la luz.

Se detectan fuertes obstáculos que dificultan la comprensión de los fenómenos estudiados. Estos obstáculos parecieron estar relacionados fundamentalmente con una incorrecta construcción de las concepciones básicas sobre ondas en general, y sobre ondas electromagnéticas en particular, así como con formas precientíficas de razonamiento, similares a las detectadas en trabajos anteriores en otras áreas de la Física.

Los instrumentos utilizados en el análisis son cuestionarios de lápiz y papel que se administraron durante el desarrollo del taller.

## **II. Descripción del taller**

Los datos analizados en este trabajo provienen de un taller de formación y actualización de profesores referido a nuevas estrategias en el aprendizaje de la Óptica Física, desarrollado durante una reunión de educadores de ciencias.

Partiendo de la idea de que la construcción del conocimiento es el resultado de la actividad del aprendiz para resolver problemas (Wheatley 1991) el taller se implementó como un programa de actividades intensivas de resolución colectiva de situaciones problemáticas, donde los aspectos teóricos y experimentales no se disocian, se integran. Se pretendió fomentar una visión de la ciencia como una actividad holística, interactiva, orgánica y dinámica, en la cual el pensamiento y la acción están en permanente interjuego dialéctico (Hodson 1992).

El taller tuvo una duración de 20 horas y participaron del mismo 15 docentes de los niveles universitario básico, terciario y medio.

Las actividades fueron organizadas en tres bloques: a) introductorias, b) de desarrollo y c) de síntesis, cuyos objetivos son:

- a) Se proponen motivar a los aprendices en los problemas a tratar en el taller, sensibilizar sobre el tema, proporcionar un hilo conductor a la tarea y, fundamentalmente, explicitar las concepciones previas. Se trata por lo tanto de identificar núcleos problemáticos significativos capaces de desencadenar un proceso de aprendizaje con metodologías que se aproximen a la labor de los científicos.
- b) Por su parte, las actividades de desarrollo, apuntan a la construcción y al manejo significativo de las conceptualizaciones y a la familiarización con ciertos aspectos claves del trabajo científico en el abordaje de las situaciones problemáticas, tales como: formulación de los problemas, revisión bibliográfica crítica, emisión y fundamentación de las hipótesis, diseño de experiencias con materiales de bajo costo comparativo, análisis e interpretación crítica de resultados, ...
- c) En cuanto a las actividades de síntesis, abarcan tanto la elaboración de síntesis finales a través de esquemas, mapas, cuadros, etc., como la evaluación de aquellos aspectos del problema que quedan planteados para seguir profundizando individualmente o en próximos talleres, así como las actividades de reflexión metacognitiva donde se explicitan los procesos propios de pensamiento, las estrategias seguidas, las ventajas y desventajas de los problemas propuestos.

Además, y con el propósito de evaluar los resultados del aprendizaje, al iniciar y finalizar el taller los profesores respondieron a un cuestionario preinstruccional (ver Apéndice I) y a una evaluación final (ver Apéndice V). Las cuestiones que aparecen en el análisis de estos cuestionarios mostraron una problemática que dio lugar a este trabajo.

Se destaca que las preguntas formuladas en los cuestionarios fueron planificadas para favorecer y evaluar el aprendizaje y no para sacar a luz núcleos de dificultad y obstáculos epistemológicos. El análisis de los resultados permitió detectar fuertes preconcepciones no científicas en cuestiones básicas sobre naturaleza y propagación de la luz que se convirtieron en fuertes obstáculos para la comprensión de los fenómenos de polarización.

Si bien muchas de esas preconcepciones han sido detectadas en las estudiantes (Cudmani et all. 1990; Pesa et all. 1995) no esperábamos que ellas persistieran con tanta fuerza en los profesores con quienes creímos poder abordar significativamente (es decir con los adecuados subsunsores) durante el taller cuestiones complejas referidas al tema: birrefringencia, láminas retardadoras, actividad óptica en cristales, etc. En el Apéndice II se transcriben las actividades desarrolladas y en el III la bibliografía usada en el curso.

Este resultado no esperado generó la inquietud por realizar un estudio sistemático cualitativo del material reunido durante esta experiencia, a fin de identificar en forma más clara y precisa los núcleos de dificultad y formular hipótesis para superarlos en prácticas futuras.

Desde esta perspectiva se analizaron:

- respuestas al cuestionario preinstruccional
- respuestas al cuestionario de evaluación final del aprendizaje
- registro sobre conclusiones de los participantes, sobre sus propios aprendizajes en la síntesis integradora (ver Apéndice IV)
- resultados de una evaluación que los alumnos hicieron sobre el taller en forma escrita y anónima. El Apéndice VI muestra el cuestionario evaluativo.

### **III. Analisis del cuestionario preinstruccional**

El cuestionario preinstruccional puede ser consultado en el Apéndice I. Presentaremos a continuación los resultados más significativos, a nuestro criterio.

Este análisis está diseñado para tratar de interpretar a manera de hipótesis las posibles causas: dificultades conceptuales, fallas de razonamiento, internalización incompleta o errónea de modelos y representaciones, que aparecen como obstáculos para el aprendizaje. Como es práctica corriente, se parte del supuesto de que los que los

aprendices manifiestan en sus respuestas proporcionan indicios que permiten interpretar los modos en que ellos razonan.

### **Pregunta 1**

Cuando se analizan las respuestas 11 profesores contestan correctamente a la pregunta 1, sosteniendo que la onda luminosa es transversal y sólo 4 que es longitudinal. Sin embargo, cuando tienen que justificar por qué pueden afirmar que la onda es transversal, 4 sostienen que *“porque se adaptan o se explican por el modelo electromagnético”*. Esta respuesta es un claro ejemplo de la inversión entre los roles de los modelos y las realidades físicas que interpretan. En esta concepción es la realidad la que debe adecuarse al modelo y no a la inversa. Se trata de un modo no científico de razonar.

Otros 4 no fundamentan sus respuestas. Sólo 3 (20%) relacionan el carácter transversal de la onda con el fenómeno de polarización y afirman que *“para explicarlo es necesario postular ondas transversales”*.

Los 4 que afirman que se trata de ondas longitudinales no fundamentan sus respuestas.

### **Pregunta 2**

Las respuestas a este ítem son muy dispares. Sólo 2 dan respuestas científicamente aceptables.

4 de ellos tienen idea de que el fenómeno se relaciona con alguna limitación en la dirección de vibración, pero las respuestas son vagas y poco precisas:

*“La luz está concentrada en una sola dirección”; o “... en un solo plano”*

3 confunden con monocromaticidad total o parcial:

*“es cuando se absorben ciertas longitudes de onda”; “cuando tienen una única frecuencia”*

Otras respuestas son muy confusas:

*“cuando se propaga sólo una parte del campo electromagnético”*.

Una respuesta es realmente notable porque no sólo demuestra desconocimiento del tema sino incoherencias y fallas en la lógica del razonamiento:

*“la luz polarizada me da idea de una luz filtrada que debe pasar por una superficie muy pequeña pero no única como el paso por una red”*. Este mismo sujeto afirma en otra parte de su trabajo que *“la luz es propagación de ondas luminosas”*.

### **Pregunta 3**

En este caso hay sólo 4 respuestas aceptables, 2 no saben y 2 dan respuestas vagas como que:

*“los anteojos polarizados producen desfases entre los ejes”*

5 vinculan el fenómeno con la reflexión en los anteojos:

*“para evitar que el sol se refleje y hiera a la vista”*; *“porque el blanco refleja todas las longitudes de onda que dañan al ojo”*

2 dicen que es para evitar la luz ultravioleta.

### **Pregunta 4**

Para este análisis nos limitaremos a detectar cuestiones que podrían dificultar la comprensión de conceptualizaciones científicas sobre fenómenos de Óptica Física y en particular sobre polarización.

8 profesores hacen referencia a la necesidad de que los rayos que va interferir tengan una diferencia de caminos ópticos, pero casi todos (7) consideran rayos que provienen de fuentes independientes.

Sólo 2 hacen referencia a la coherencia (espacial) de los haces y ninguno a la longitud del tren de onda (coherencia temporal).

Sólo 1 menciona la igualdad de frecuencia entre los haces, los otros se limitan a hablar de *“suma o destrucción de ondas”* (ver más adelante, razonamiento puramente algorítmico).

### **Pregunta 5**

Lo que más se destaca en este caso es cómo se hace referencia a única propiedad de las fuentes luminosas con respuestas muy dispersas.

Sólo 4 respuestas hacen referencia a por lo menos tres propiedades:

monocromaticidad

coherencia

direccionalidad

3 dan como diferencia entre ambas fuentes la divergencia del haz, si bien no lo expresan en estos términos:

*“el laser es concentrado”; “la luz de la linterna se desparrama”; la linterna es difusa, el laser es puntual”*

Los demás dan respuestas diversas:

*“el laser se produce por excitación de átomos, en tanto que en la linterna la emisión es por calentamiento del filamento”; “el laser es un conjunto haces que pasan por un punto”; “el laser se propaga en línea recta si lo hace pasar por una hendidura”; “la luz de la linterna vibra en todos los planos, el laser en uno sólo”...*

Curiosamente, sólo 1 hace referencia a la diferencia de intensidades.

En síntesis, el análisis de las respuestas elaboradas por los profesores, parecen mostrar que las conceptualizaciones básicas que debieran servir de anclaje para el aprendizaje significativo de los fenómenos referidos a la polarización luminosa, no han sido correctamente internalizadas.

#### **IV. Hipótesis sobre las posibles causas de estos errores conceptuales**

Una posible explicación de las fallas detectadas sería el desajuste entre el modelo teórico de haz luminoso internalizado por la mayoría de los alumnos y las características reales de éste.

En trabajos anteriores hemos estudiado este tipo de desajuste en otros temas de Física como la Mecánica y el Electromagnetismo (Cudmani, Cudmani 1988; Cudmani, Salinas 1991, Cudmani, Salinas, Jaén 1991). En ellos sosteníamos que si bien desde el punto de vista lógico parece razonable comenzar la construcción de los sistemas teóricos a partir de supuestos simplificadorios que faciliten el análisis, también es cierto que esas simplificaciones requieren un alto grado de abstracción. Por lo tanto, estas nociones simplificadas suelen estar muy alejadas de las experiencias previas internalizadas en la estructura cognoscitiva del aprendiz, las cuales proporcionan los anclajes eficaces (subsunoers) para construir el conocimiento científico (Ausubel 1978), de modo que, además de su estructura lógica y sistemática, proporcionen esquemas eficientes para interpretar la realidad.

Coincidente con este punto de vista en un trabajo reciente de Grecca y Moreira (1998) se afirma que en la enseñanza *“las teorías aparecen como estructuras acabadas, presentando los fenómenos, leyes y sus expresiones matemáticas de acuerdo a rigurosos criterios lógicos deductivos... cuando una teoría científica es presentada, reconstruida racionalmente, responde a esos criterios, pero eso no significa que la construcción y comprensión por parte del aprendiz sea por media de esos criterios”*.

El enfoque histórico muestra también que las teorías, como sistemas hipotéticos deductivos no se corresponden con el desarrollo a través del tiempo de sus estructuras conceptuales (op. cit. pág. 291).

En síntesis, la construcción lógico-matemática desde lo simple a lo complejo parecería no ser siempre la forma más adecuada desde el punto de vista psicológico para construir las concepciones en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Esto suele conducir a un manejo algorítmico de los modelos vaciándolos de significados físicos, confundiendo e invirtiendo la relación entre la realidad y el modelo (Cudmani, Salinas 1991).

Este uso acrítico del modelo se pone claramente de manifiesto en las respuestas a la pregunta 1. Los docentes atribuyen acertadamente un carácter transversal a las ondas luminosas, pero fundamentan sus respuestas en que “*ellas se adaptan al modelo electromagnético*”. No es el modelo el que debe ajustarse a la realidad sino a la inversa. Un ejemplo similar se detecta en la Mecánica cuando se omite en la instrucción el análisis crítico de la influencia de las fuerzas de roce en el estudio del movimiento (Cudmani, Cudmani 1988).

En el caso de las ondas luminosas, el uso de un modelo muy simplificado de onda (la onda infinita de amplitud y frecuencia constante) en la instrucción preliminar puede ser la causa de que no aparezcan ideas, o referencias a ideas como longitud de tren de ondas, coherencia, dirección de vibración del campo electromagnético, colimación del haz, que son claves esenciales para una correcta comprensión de los fenómenos de polarización luminosa.

Por otra parte, algunas respuestas parecen revelar problemas relacionados con formas precientíficas de razonamiento. La gran dispersión de las explicaciones en que se hace referencia sólo a una o dos variables características para interpretar situaciones complejas puede interpretarse como ejemplo de razonamiento monoconceptual (Viennot 1990). Esta categoría de análisis se refiere a formas de razonamiento en las que se simplifica acríticamente las cuestiones, suponiendo a priori y sin control que la respuesta depende de una sola variable. Esta cuestión fue estudiada por los autores en el campo del electromagnetismo (Salinas, Cudmani, Pesa 1996) y de la Óptica (Pesa, Cudmani, Bravo 1995). Así el análisis de las respuestas a la pregunta 5 muestra cómo la explicación se centra sólo en la intensidad o en la monocromaticidad o en la colimación, sin considerar el problema en su complejidad, ni la posible interacción entre las variables en juego.

También hemos detectado razonamientos antropocéntricos, categoría que Pozo (1996) caracteriza así: “*en la comprensión de la ciencia por los alumnos se ha destacado que sus concepciones se centran, casi exclusivamente en lo observable, que*

su pensamiento está dominado “por lo perceptible”... De esta forma los alumnos parecen partir de una regia que afirmaría que “lo que no se percibe no se concibe””. En efecto, en las respuestas a esa misma pregunta (5) se atribuyen las diferencias entre la emisión de las fuentes laser y la de emisión espontánea (linterna) a efectos observables y perceptibles de la visión, fundados sobre las experiencias personales, intuitivas y no sistematizadas, más bien que a las diferencias que aparecen en los modelos científicos elaborados para interpretar los mecanismos de estas dos tipos de emisiones.

Otra forma de razonamiento precientífico detectada es el razonamiento puramente algorítmico (Pesa 1997): se emplean formulismos matemáticos y otros símbolos representacionales despojándolos de significado físico. Esto se detecta, por ejemplo, en las respuestas a la pregunta número 4 cuando se simplifica el fenómeno de interferencia a una mera suma o resta de amplitudes de ondas, sin cuestionarse sobre las características que estas ondas debieran tener para que sea posible dar sentido físico observable a esas operaciones algebraicas.

## V. Analisis de las evaluaciones finales

En el taller se trabajó intensivamente sobre:

- polarización por reflexión
- birrefringencia
- láminas retardadoras
- interferencia con luz polarizada
- actividad óptica y
- aplicaciones tecnológicas de estos fenómenos.

El análisis de la evaluación final (Apéndice V) parece mostrar que muchos problemas detectados en el pretest se transformaron en obstáculos epistemológicos para el aprendizaje, los cuales no pudieron ser superados por la instrucción y la construcción de conocimiento realizada durante el taller.

Así por ejemplo, en el problema 1, cuando se pregunta si en una lámina retardadora de  $\lambda/4$ , para obtener luz circularmente polarizada, el espesor de la lámina puede ser arbitrario o ésta debe ser muy delgada:

5 responden que sí debe ser delgada “porque debe satisfacer a una relación matemática”

8 afirman que “debe ser muy delgada porque  $e = (n - n^*) \cdot (4m + 1) \lambda / 4$ ”

2 no saben o no contestan.

Las respuestas al ítem 1.a muestran que no se superó la atribución normativa del modelo sobre el fenómeno. Ellas son un claro ejemplo de razonamiento puramente algorítmico. Constituyen evidencia de que a falta de una buena comprensión de la Física de los fenómenos se recurre a respuestas estereotipadas, donde lo puramente formal reemplaza a las correctas explicaciones científicas.

En el primer problema de la evaluación final se obtuvieron los siguientes resultados para el ítem b:

Respuestas correctas con buena justificación	1.
Respuestas correctas sin buena justificación	8
Respuestas y justificación incorrecta	2
Respuestas incorrectas sin justificación	2
No contestan	2

La falta de una adecuada justificación, en la mayoría de los casos, parece mostrar que la respuesta, aún cuando es correcta, es el resultado de una asociación memorística, pero no de una real comprensión de la situación física presentada.

En el problema 2 la pregunta 2a es complementaria de 1b. Si se responde correctamente en el primer caso afirmando que la luz incidente debe estar polarizada entonces la respuesta a 1b debe estar en concordancia.

Se detecta, sin embargo, que sólo 2 de los docentes responden en forma coherente a ambas preguntas.

3 se contradicen. El resto contesta sólo a uno de los dos ítems.

Esto muestra que las ideas de los docentes sobre la polarización luminosa no se han organizado en un sistema coherente y libre de contradicciones y, por lo tanto, no se aplican por igual en diversas situaciones representativas de un mismo contexto.

En nuestra interpretación este comportamiento es una clara muestra de que estamos en presencia de un aprendizaje puramente algorítmico. El sujeto es capaz de manejar fórmulas y definiciones en la solución de situaciones problemáticas pero los significados físicos subyacentes no han sido correctamente internalizados.

La mayoría, 12 / 15, no responde a la pregunta 2b, sólo 1 contesta y justifica correctamente. Evidentemente, el concepto de longitud coherencia no ha sido internalizado. Esto no es sorprendente. Las dificultades que antes hemos analizado para la comprensión de cuestiones básicas referidas al modelo de propagación de la luz, permite esperar que este concepto mucho más complejo difícilmente va a ser correctamente asimilado.

En cuanto al ítem 2c, 5 dan una respuesta correcta pero, otra vez sólo 1 justifica correctamente. Una vez más el manejo algorítmico permite dar una respuesta correcta pero sin verdadera comprensión del fenómeno involucrado.

## VI. Los docentes evalúan el taller

Los núcleos problemáticos detectados en la evaluación final de contenidos han sido parcialmente convalidados por los resultados obtenidos en las síntesis grupales y en la evaluación del curso (ver Apéndices IV y VI) donde se brindó un espacio a los docentes participantes para realizar un control significativo e intencionado de las actividades individuales y colectivas de aprendizaje y una reflexión metacognitiva de los propios núcleos de dificultad.

8 de los docentes señalaron que el taller cumplió con sus expectativas porque: *“ayudó a vincular la teoría con la experiencia”, “me capacitó para realizar experiencias y comprender los conceptos teóricos”, “me di cuenta que con elementos de bajo costo puedo trabajar con estos tópicos...”*

7 respondieron que el tiempo de desarrollo del taller no fue suficiente: *“necesitaría mayor tiempo para la reflexión respecto a los resultados experimentales y la teoría, en especial, teniendo en cuenta mis limitaciones en Óptica Física”.*

La mayoría de los docentes (12) señalaron que las actividades planteadas eran coherentes con los objetivos del taller, interesantes y con gran posibilidad de transferencia directa a la práctica docente, tanto a nivel universitario básico como de formación de profesores. Destacaron como muy importantes:

- la propuesta de articulación de los modelos teóricos con el trabajo experimental a través de la resolución de situaciones problemáticas de complejidad creciente.
- la metodología del taller y de trabajo grupal por sus posibilidades de favorecer el intercambio y el apoyo mutuo entre los participantes y la construcción de representaciones cada vez más ricas, fértiles y complejas y simultáneamente más coherentes y objetivas.

Orientados a reflexionar sobre sus propias dificultades de aprendizaje destacaron como principales núcleos de dificultad:

- la complejidad de la temática;
- limitada formación en óptica Física, centrada fundamentalmente en aspectos descriptivos y algoritmos matemáticos vacíos de significación física, compartimentalizados y desarticulados;
- desconocimiento de los límites de validez del modelo utilizado y de los supuestos que éste lleva implícito.

Todos ellos fueron reconocidos como obstáculos críticos para planificar, predecir y explicar el comportamiento de las distintas situaciones problemáticas planteadas.

Estas respuestas parecerían indicar que el taller les permitió, al menos, tomar conciencia de cuáles eran los núcleos de dificultad en su aprendizaje de la Óptica y cuáles podrían ser estrategias valiosas para superarlos.

## VII. Conclusiones

En general, las evaluaciones muestran que los resultados alcanzados no fueron satisfactorios y que sólo se han logrado dos importantes **tomas de conciencia**:

- Por parte de los docentes participantes, de que es necesario reconstruir concepciones y simultáneamente adquirir competencia en modos más científicos de razonar.

- Por parte de los coordinadores del taller, de que existen fuertes obstáculos para el aprendizaje de los fenómenos con luz polarizada, que no se superan fácilmente, aún con situaciones de aprendizaje cuidadosamente preparadas al efecto. Estos obstáculos parecen estar vinculados en primer lugar a una identificación acrítica del modelo de onda electromagnética de la luz, con una concepción mecanicista muy simplificada: la onda infinita, de amplitud y frecuencia constante y la persistencia de modos precientíficos de razonar (monoconceptual, puramente algorítmico, antropocéntrico,...). Estas hipótesis han desencadenado un programa de investigación que se propuso contrastar, en situaciones mejor controladas, las hipótesis en cuestión y, al mismo tiempo buscar estrategias docentes capaces de superarlas.

Desde la perspectiva de los profesores participantes, la toma de conciencia de sus propias dificultades, así como la explicitación y la discusión colectiva acerca de los modelos alternativos y procesos empleados en la resolución de las actividades, constituyeron aspectos determinantes para reflexionar críticamente y comprender las dificultades de los propios alumnos. Justificamos esta afirmación en los registros de los coordinadores del taller, sobre los comentarios realizados por cada uno de los docentes participantes al finalizar el mismo, y en los resultados de una evaluación final, anónima y escrita sobre las actividades propuestas (Apéndice VI).

Respecto a los docentes coordinadores del taller se rescatan como importantes, la toma de conciencia acerca de los siguientes aspectos:

- Los talleres de corta duración (en este caso 16 horas), si bien resultaron motivadores para que los docentes conocieran algunos aportes de investigaciones educativas, equipos y materiales didácticos innovadores, no lograron desarticular los principales obstáculos epistemológicos para el aprendizaje de la temática de la polarización luminosa los que fueron identificados y sistematizados al final del mismo.

- Parecería necesario replantear las estrategias de enseñanza sobre el tema de ondas en general, y sobre ondas luminosas y electromagnéticas en particular, a fin de garantizar el aprendizaje significativo de estas temáticas y la posibilidad de disponer de los núcleos subsunsores sobre los que se anclarán las temáticas más de complejas de la Óptica Física.

- A fin de evaluar nuevas propuestas se hace necesario realizar otros ensayos con grupos curas condiciones iniciales sean mejor controladas. Los datos del taller realizado muestran algunos indicadores de obstáculos que dificultan el aprendizaje pero no se dispone de información acerca de la instrucción previa recibida por cada uno de los docentes participantes. Es decir, planificar el taller como una investigación-acción, capaz de proporcionar más y mejor información sobre el tema y lograr elementos más objetivos para la convalidación de las hipótesis.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se diseñó dentro de un curso de Laboratorio de Óptica, un módulo referido a la polarización luminosa, con instrucción especialmente planificada y con recursos didácticos específicos tales como un texto de actividades e información complementaria, para salvar las fallas detectadas.

Los resultados obtenidos en esa experiencia se compararon con los obtenidos con un grupo control que recibió una instrucción tradicional y también con las respuestas de un grupo de auxiliares docentes de laboratorio que, si bien habían recibido instrucción tradicional, se suponía mejores formados en esta temática. Los resultados serán presentados en una próxima publicación.

## Referencias

AUSUBEL, NOVAK, HANESIAN Educational Psychology - A cognitive view; Holt, Rinehart, Wiston, New York, 1978.

CUDMANI L., CUDMANI C. Física Básica: incidencia de la instrucción sobre los errores conceptuales, Enseñanza de las Ciencias. v.6, n.2, 1988.

CUDMAN L., SALINAS J. Modelo físico e realidade: importância epistemológica de sua adequação quantitativa, Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.8, n.3, 1991.

CUDMANI L., SALINAS J., PESA M. Paradigmas en el aprendizaje de la Óptica Física: resultados de una experiencia piloto, Revista de Enseñanza de la Física, v.3, n.1, 1990.

GRECA I., MOREIRA M. A. Modelos mentales y aprendizaje de la Física, Revista de Enseñanza de la Física, v.16, n. 2, p. 289-296, 1998.

HODSON D. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education, International Journal of Science Education. v.14, p. 549-562, 1992.

POZO J. I. Psicología de la comprensión y el aprendizaje de las ciencias, Pub. del Ministerio de Educación y Ciencia, España, 1996.

PESA M. Concepciones y preconcepciones referidas a la formación de imágenes, Tesis doctoral. Univ. Nac. de Tucumán, Argentina, 1997.

PESA M., CUDMANI L. C. DE, BRAVO S. Formas de razonamiento asociadas a los sistemas preconceptuales sobre naturaleza y propagación de la luz, Caderno Catarinense de Ensino de Física. v.12, n.1, 1995.

SALINAS J., CUDMANI L. C. DE, PESA M. Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento científico, Enseñanza de las Ciencias. v.14, n.2.

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

WHEATLEY D. Constructivist perspectives on science and mathematics learning, Science Education, v. 75, n.1, 1991.

## **Apendice I: Cuestionario Preinstruccional**

1- La radiación luminosa es una perturbación transversal o longitudinal? Por qué? Dé ejemplos.

2- ¿Qué entiende Ud. por luz polarizada? Es posible detectar luz polarizada a simple vista?

3- ¿Por qué los esquiadores necesitan utilizar anteojos con cristales polarizados? Explique.

4- ¿Qué entiende Ud. por fenómenos de interferencia luminosa? Explique.

¿Se diferencian físicamente de los fenómenos de difracción? Explique.

¿Los fenómenos de interferencia son sólo característicos de la radiación luminosa? Explique.

5- ¿Qué diferencia cree Ud. que existe entre un haz de luz de linterna y un haz de luz de una laser?

## **Apendice II: Guía de Actividades del taller**

**Act. 0** -Lectura crítica y reflexiva de la siguiente bibliografía:

• Capó 8: Polarización, del texto: Óptica, de E. Hecht y A. Zajac, Fondo Educativo Int., México, 1977.

• Interferencia por división de componentes ortogonales. Del texto: Óptica Física Básica estructurada alrededor del concepto de coherencia luminosa. Ed. de la UNT, Tucumán, Argentina, 1990.

### **Act. 1 -Polarización por reflexión**

1- Ud. observó en experiencias anteriores que la luz reflejada por superficies no metálicas está parcialmente polarizada. Nos proponemos ahora estudiar este fenómeno con mayor profundidad. Para ello se dispone de un conjunto de portaobjetos, una linterna y un polarizador.

a) ¿Qué ocurre cuando se iluminan los portaobjetos y se observa la luz reflejada haciendo rotar el polarizador?

b) Compare el estado de polarización de la luz reflejada en distintas situaciones: incidencia normal, incidencia rasante, ángulos intermedios. ¿Para que ángulo observa el mayor grado de polarización de la luz reflejada?

c) ¿Qué modelo explica los comportamientos experimentales observados?

d) ¿Por qué utilizó una pila de portaobjetos y no trabajó con uno solo?

2- ¿Coinciden las predicciones del modelo, dentro de los errores experimentales, con sus resultados? Discuta sus conclusiones grupalmente.

3- Síntesis integradora grupal coordinada y orientada por el docente capacitador.

### **Act. 2 –Birrefringencia**

1- Coloque a placa con el cristal de calcita en el soporte de un proyector de diapositivas y enfoque la imagen de un orificio en la pantalla.

a) ¿Qué observa? Explique.

b) Haga rotar el cristal en el soporte, cuidando de que no ocurran desplazamientos laterales. Describa y explique lo observado.

c) Interponga en el camino del haz emergente una lámina polarizadora y rótelas lentamente. Explique qué ocurre.

d) ¿Qué diferencia encuentra entre las haces ordinario y extraordinario?

e) Explique como se relaciona la anisotropía con la estructura cristalina del cristal de calcita.

2- Síntesis integradora grupal coordinada y orientada por el docente capacitador.

### **Act. 3 -Láminas retardadoras. Interferencia con luz polarizada**

1- Haga incidir luz monocromática y linealmente polarizada sobre distintas láminas retardadoras.

a) Analice el estado de polarización de la luz emergente determinando qué tipo de retardo introduce. ¿Por qué es necesario que la luz incidente sea linealmente polarizada y monocromática? Explique.

b) ¿Cómo procede experimentalmente para investigar si la luz emergente es natural, lineal, circular o elípticamente polarizada?

2- Interponga un portaobjetos con una tira de celofan en el camino de un haz de luz linealmente polarizado y monocromático.

a) Analice el estado de polarización de la luz emergente. ¿Se comporta, el celofan como una lámina retardadora? ¿Qué desfase produce? ¿Por qué?

b) Coloque ahora un polarizador y un analizador “cruzados” de tal manera que la intensidad del haz emergente sea mínima. Interponga luego la muestra de celofan entre polarizador y analizador y describa lo que observa. ¿Cómo explica (este comportamiento? Ahora rote el analizador y observe cómo se modifica la luz transmitida.

c) ¿Cuál es el rol del polarizador en esta experiencia? ¿Cuál es el rol del analizador en esta experiencia? Explique y discrimine las diferencias de roles.

3- Con varias capas de polietileno estirado o varias capas de mica o trozos de cinta Scotch pueden construirse láminas retardadoras de distintos tipos. E Haga incidir sobre este dispositivo luz polarizada y monocromática (use polarizador y un filtro de colar). “Analice” la luz transmitida para distintos ángulos de polarización de la luz incidente.

a) ¿Por qué debe incidir luz linealmente polarizada?

b) ¿Por qué conviene usar un filtro de colar?

c) ¿Bajo qué condiciones obtienen luz linealmente polarizada?

d) ¿Hay algún límite para la cantidad de capas a colocar?

4- Síntesis integradora grupal coordinada y orientada por el docente capacitador.

#### **Act. 4 -Actividad Óptica**

1- Coloque una solución de sacarosa en el Erlenmeyer frente a una fuente luminosa y estudie con un analizador el estado de polarización de la luz emergente a distintas alturas de la base del recipiente.

b) ¿Qué observa si hace incidir luz polarizada y monocromática en lugar de luz natural?

c) ¿Cómo explica que el plano de la luz emergente haya rotado en distintas proporciones para una misma solución? Estudie un modelo fenomenológico que le permita explicar los resultados obtenidos. Discuta sus conclusiones grupalmente.

2- Coloque una solución de sacarosa en la cuba y estudie el estado de polarización de la luz transmitida por la solución.

b) ¿Es necesario que la luz incidente esté linealmente polarizada?

c) ¿Investigue el efecto que produce en la luz emergente el aumento de la concentración de sacarosa en la solución. ¿Cómo explica estos comportamientos?

d) ¿Cómo procedería para calibrar el instrumento a fin de medir soluciones de sacarosa de concentraciones desconocidas? ¿Le parece que este efecto tiene aplicaciones prácticas importantes? Discuta sus conclusiones grupalmente.

3- Síntesis integradora grupal coordinada y orientada por el docente capacitador.

#### **Apendice III: Bibliografía utilizada en el curso**

ALONSO, FINN Física: Campos y Ondas, Vol. II, Fondo Educativo Interamericano, México, 1970.

BERTIN M., FAROUX J., RENAULT J. Óptica v Física Ondulatoria. Óptica geométrica v física. Fenómenos de propagación, Ed. Paraninfo, Buenos Aires, 1986.

BORN M., WOLF E. Principles of Optics, Pergamon Press, Great Britain, 1964.

CRAWFORD F. Berkeley Physics Course, Vol. 3, De. Reverté, México, 1971.

CUDMANI L. C. de, PESA M., Y otros Óptica física básica estructurada alrededor del concepto de coherencia luminosa, Ed. UNT, Argentina, 1990.

FALK D., BRILL D., STORK D. Seeing the light, Ed. Harper and Row, New York, 1990.

HECHT E., ZAJAC A. Óptica, Fondo Educativo Interamericano S. A., México, 1977.

JENKINS F., WHITE H. Fundamentals of Optics, Mc Graw Hill Co., USA, 1985.

LANDSBERG G. Óptica (Tomos I y II), Ed. Mir, Moscú, 1984.

ROSSI B. Fundamentos de Óptica, Ed. Reverté, Buenos Aires, 1966.

SEARS Óptica, Ed. Aguilar, España, 1966.

SMITH F., THOMSON J. Óptica, Ed. Lumisa, México, 1979.

#### **Apendice IV: Actividades de síntesis del taller**

Para reflexionar grupalmente entre todos los participantes del taller:

a) ¿Cuáles son a su criterio los principales núcleos de dificultad de la temática planteada?

¿Considera que las actividades propuestas pueden contribuir a superar esos núcleos de dificultad y a construir las principales conceptualizaciones referidas a la comprensión de los fenómenos de polarización de la luz?

Discuta con sus colegas y explicita sus conclusiones.

#### **Apendice V -Ejemplos de problemas planteados en la evaluación final**

1- Cuáles de las siguientes afirmaciones son válidas y por qué:

a) la lámina  $\lambda/4$  puede ser: a1) de espesor arbitraria, a2) muy delgada

b) la luz que incide sobre la lámina para obtener luz polarizada debe ser luz natural

c) el material del que está hecha la lámina es:

c1) ópticamente activo

c2) birrefringente

c3) dicroico

d) la luz incidente debe ser monocromática

Justifique su respuesta tanto en los casos afirmativos como negativos. J

2- A fin de obtener un patrón observable de interferencia a la salida de una retardadora es necesario que:

- a) la luz incidente esté polarizada
- b) la diferencia de caminos ópticos entre los rayos ordinario y extraordinario sea mayor que la longitud de coherencia de la radiación incidente.
- c) la diferencia de fase entre los haces ordinario y extraordinario sea constante

Justifique sus respuestas.

### **Apendice VI: Evaluación del curso**

Marque con una cruz la opción que coincida con su opinión. Las respuestas pueden ser anónimas.

1. ¿Respondió el taller a sus expectativas?

Sí ...Más o menos... No ...

2. Si lo desea, exponga las razones de su respuesta al ítem 1.

3. Respecto a las actividades planteadas en el taller:

a) ¿eran adecuadas a los objetivos del taller?

Sí ...Más o menos ...No ...

b) ¿eran interesantes?

Sí ...Más o menos ...No ...

c) ¿tuvieron una guía adecuada?

Sí ...Más o menos ...No ...

d) ¿tienen en general transferencia directa, inmediata, a la práctica docente?

Sí ...Más o menos ...No ...

4. La actividad que más le agradó fue .....

La actividad que menos le agradó fue.....

5. Si lo desea exponga las razones de su respuesta.

6. Suprimiría alguna actividad del taller

Sí ...No ...

En caso afirmativo, ¿cuáles?

7. ¿Cree que el taller es suficientemente valioso como para que se lo ofrezca a otros grupos de docentes?

Sí ...No sé ...No ...