

¿Qué sucede con la enseñanza de la óptica?

Jordi Solbes Matarredona y J. Zacarés García

ABSTRACT: This article provides an analysis about the introduction of basic conceptions of optics, the degree of comprehension by students and the preconceptions they already have. In order to check our hypothesis we have made use of questionnaires to evaluate textbook, teachers and students.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de cómo se introduce la óptica en la enseñanza secundaria, es decir, desde los 12 a los 18 años y, en segundo lugar de las preconcepciones de los alumnos al respecto.

Según la normativa vigente aparece óptica geométrica en 7º de EGB y 2º de BUP. En los cursos 3º de BUP y COU aparecen temas de movimiento ondulatorio y en COU un tema titulado «Naturaleza de la luz. Dualidad onda-corpúsculo» (B.O.E. 17/3/78). Este tema, se limita a realizar una breve introducción histórica a las teorías clásicas sobre la naturaleza de la luz (corpúsculo, onda, onda electromagnética), para centrarse en los fenómenos cuánticos. Es decir, la presencia de la óptica es escasa (Perales, 1987).

En otros países de nuestro entorno la presencia de la óptica es mayor, en particular, en los 16-18 años, tratándose no sólo aspectos de óptica geométrica, sino también de óptica ondulatoria (interferencia, difracción, color, etc.) e, incluso, de instrumentos ópticos. Esto parece más lógico, dada la importancia de la óptica: el 70% de la información la recibimos a través de los ojos, sus múltiples aplicaciones tradicionales (espejos, lentes, instrumentos, etc.) y las más recientes (láser, holografía, fibras ópticas, etc.).

Por otra parte, es de sobra conocida, la existencia de preconcepciones e, incluso, de esquemas conceptuales alternativos en todos aquellos dominios en que los estudiantes tienen experiencia previa. Por ejemplo, sobre fuerzas y movimientos, sobre la naturaleza del calor y como es lógico, sobre la

luz. Por ello no es extraño que en los países de nuestro entorno la bibliografía sobre preconcepciones en óptica sea muy abundante (Kaminski 1989, Guesne 1989, Anderson B. y Kärriquist C. 1983, Tiberghien 1980, La Rosa 1984). Por contra, en nuestro país es poco numerosa. En una primera aproximación se podría atribuir al menor desarrollo de la investigación didáctica en nuestro país, pero aunque esto pueda ser cierto no sucede así en otros temas como la Mecánica o la estructura corpuscular de la materia.

Esta peculiar situación nos lleva a plantearnos los siguientes problemas:

- i) ¿Cómo se introducen los conceptos básicos de óptica en nuestro país?
- ii) ¿Son comprendidos por los alumnos?
¿Tiene algún efecto dicha enseñanza en sus preconcepciones?

2. PLANTEAMIENTO Y FUNDAMENTACION DE LA HIPOTESIS

Consideramos, y ésta es nuestra primera hipótesis, de trabajo que la enseñanza habitual de la óptica se caracteriza por:

- No tener en cuenta las preconcepciones de los alumnos e introducir, además, errores conceptuales.
- Dar más importancia a ciertas expresiones matemáticas (p.e., la ecuación de la onda armónica plana) que a la comprensión de los conceptos sobre la luz, sus interacciones con la materia y, en particular, a la visión de los objetos.
- No clarificar las relaciones entre los diversos modelos sobre la luz, sus límites, diferencias, etc.
- No tener en cuenta las múltiples aplicaciones de la óptica y sus implicaciones sociales.

En consecuencia, nuestra segunda hipótesis es que los alumnos no alcanzan ni una mínima comprensión sobre la luz, sus interacciones con la materia y, en particular,

sobre la visión de imágenes y colores. Además, incurrir en errores conceptuales como p.e. identificar la luz con sus fuentes, considerar que la luz se ve, no asociar el color con la luz, colocar a la luz solar y a la luz eléctrica en categorías diferentes, etc. (Hierrezuelo y Montero 1984, Guesne 1989, Anderson y Kärriquist 1983, Tiberghien 1980, La Rosa 1984), porque sus preconcepciones se mantienen.

Estas hipótesis se apoyan en algunas características de la enseñanza usual de la Física que, como ya han sido presentadas en anteriores trabajos (Gil, Senent y Solbes 1989, Solbes y Martín 1991), nos limitaremos aquí a enumerar brevemente. Así, dicha enseñanza:

- No tiene en cuenta las ideas previas de los alumnos y sus formas usuales de razonamiento (Viennot 1976, Posner et al. 1982, Gil y Carrascosa 1985, Hashewh 1986) en consecuencia estas preconcepciones se mantienen, encontrándose incluso en estudiantes universitarios (Solbes, Bernabeu et al 1988).
- Realiza un tratamiento empirista y operativo que no tiene en cuenta las características del trabajo científico (Gil 1983) y se limita a la aplicación mecánica de las matemáticas, de las «fórmulas» (Gil y Martínez 1983).
- Proporciona una visión lineal y acumulativa, que no tiene en cuenta la existencia de cambios conceptuales en el desarrollo de la Física (Gil, Senent y Solbes 1989).
- Ignora las interacciones «Ciencia-Técnica-Sociedad» (CTS) (Solbes y Vilches 1989).

Esto, que ya es fuente de muchos de los problemas detectados en la enseñanza de la Física, es particularmente grave en un dominio como la óptica que:

- Esta impregnada de preconceptos dado que el alumnado tiene múltiples experiencias previas (Guesne 1989, Hie-

rrezuelo y Montero 1989, Anderson B. y Kárrquist C. 1983).

- Permite usar múltiples dispositivos sencillos de manejo fácil y cotidiano (espejos, lentes, cámaras fotográficas, etc.) que apenas se utilizan en una enseñanza centrada en contenidos y «fórmulas».
- Ha sido objeto de estudio desde la antigüedad y, por tanto, existen múltiples modelos explicativos. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes: los griegos (luz como partículas que los cuerpos proyectan sobre el ojo o algo que emite el ojo); Descartes (luz como pelotas de tenis); Huygens (luz como vibraciones en un medio, no necesariamente periódica); Newton (luz como corpúsculos, pero con propiedades periódicas para explicar los colores); Young, Fresnel (luz como ondas periódicas y transversales); Maxwell, Hertz (luz como ondas electromagnéticas); Einstein, Compton, (luz como cuantos o fotones) (Belendez 1989).
- Tiene múltiples aplicaciones e implicaciones sociales: en la astronomía-astrofísica (telescopios, óptica adaptativa, visión en infrarrojo, etc.) en la medicina (lentes correctoras, microscopios, cirugía láser, sondeos con fibras ópticas), en la transmisión de información con fibras ópticas, en las aplicaciones militares (radar láser, telemetría, etc.), e industriales del láser (dirección de túneles, soldadura y grabado de metales, taladro de materiales duros, holografía, etc.).
- Tiene gran impacto en la vida cotidiana: visión de imágenes, dispositivos de uso corriente como cámaras fotográficas, de vídeos, lentes, etc.; explicación de fenómenos naturales (el azul del cielo, las rojizas puestas de sol, el arco iris, etc.).

3. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CONTRASTAR LAS HIPÓTESIS

Para comprobar las distintas hipótesis enumeradas anteriormente hemos recurrido a la elaboración y aplicación de cuestionarios de textos, de profesores y de alumnos.

Para ello, hemos elaborado un primer borrador que ha sido sometido a expertos para su revisión, hemos realizado un ensayo piloto para analizar la validez de los cuestionarios revisados (facilidad de comprensión de los ítems, coherencia de los resultados, etc.), y, finalmente, hemos reelaborado los cuestionarios a la luz del análisis del ensayo piloto y se ha aplicado definitivamente al colectivo elegido.

3.1. Cuestionario para el análisis de textos

Para estudiar el tipo de enseñanza que se imparte, se ha elaborado un cuestionario en dos partes para el análisis de libros de texto, en el que se distinguen tres niveles: nivel 1 correspondiente a EGB (4º, 6º, y 7º); nivel 2, a 2º B.U.P. y F.P.-I y nivel 3 a 3º B.U.P. y Física C.O.U. (ver cuadro I). La primera parte del cuestionario se aplica a todos los niveles y la segunda sólo al nivel 3.

3.2. Cuestión para profesores

Así mismo, aunque se ha constatado la validez del análisis de textos para estudiar el tipo de enseñanza que se imparte, dado que más del 90% del profesorado los utiliza (Yager y Penich 1986), para verificarlo desde otro punto de vista, se ha pasado la siguiente cuestión abierta a un grupo de 35 profesores en activo correspondiente a los diversos niveles, un 25% corresponde a profesores de E.G.B. y el 75% restantes a profesores de EE.MM.. La cuestión era la siguiente:

«Indica brevemente cómo introduces los conceptos de óptica en la enseñanza de la Física, cuáles y a qué niveles»

3.3. Cuestionario de alumnos

Por último se ha elaborado un cuestionario sobre aspectos muy elementales de la naturaleza de la luz y su propagación, la reflexión y la refracción, etc., de 13 ítems, que se ha aplicado a un conjunto de 254 alumnos de 14 a 17 años 3º E.S.O. (14 años), 4º E.S.O. y 2º B.U.P. (15 años) y 30 B.U.P. y 20 Bachillerato de Ciencias (16/17 años). El tiempo que se les dejó para resolverlo fue ilimitado, aunque la mayoría utilizó aproximadamente una hora en su ejecución (ver cuadro II).

4. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados del análisis de textos

En la tabla 1 se pone de manifiesto los resultados correspondientes al análisis de Textos.

CUADRO I CUESTIONARIO DE TEXTOS

- 1ª ¿Pone de manifiesto las ideas previas de los alumnos sobre la luz?
- 2ª ¿Pone de manifiesto las ideas previas de los alumnos sobre el mecanismo de la visión?
- 3ª Muestra las ideas previas de los alumnos sobre los colores.
- 4ª Introduce diversos modelos para explicar la naturaleza y comportamiento de la luz. ¿Cuáles?
- 5ª Presenta la controversia entre estos modelos.
- 6ª Pone de manifiesto las limitaciones de los modelos, y cómo los nuevos modelos explican fenómenos anteriores y otros nuevos (p.e. la reflexión explicada con el modelo corpuscular y con el ondulatorio).
- 7ª Pone de manifiesto las condiciones de visión de imágenes.
- 8ª Distingue entre reflexión especular y difusa.
- 9ª Aclara la importancia de esta última para la visión.
- 10ª Se aborda la cuestión de los colores y su importancia para la visión.
- 11ª Se plantean experiencias para que las realice el alumno.
- 12ª Muestra aplicaciones y técnicas de la óptica.
- 13ª Muestra sus aplicaciones sociales.

NIVEL SUPERIOR

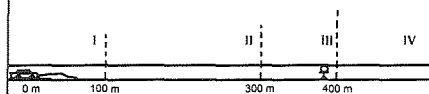
- 1ª Pone ejemplos de la luz como onda o se limita a las ondas mecánicas. ¿Qué ejemplos?
- 2ª Muestra cómo la óptica se integra en el electromagnetismo y por tanto que la luz es una onda electromagnética.
- 3ª Se trata la importancia de la dispersión y la absorción como formas de interacción de la luz con la materia.
- 4ª Explica el origen de la luz.
- 5ª Relaciona la absorción de la luz y por lo tanto la visión de colores con las transiciones entre niveles y bandas.
- 6ª Relaciona los fotones con la intensidad de la luz ($i = nh\nu$).

CUADRO II

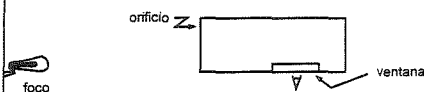
CUESTIONARIO DE ALUMNOS

Naturaleza de la luz

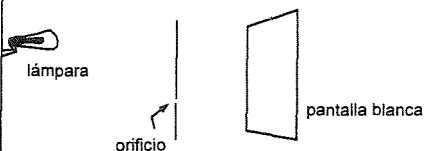
- 1ª ¿Dónde está la luz en este aula?
 2ª En una noche clara, un coche circula por una carretera recta. El coche tiene encendidas las luces. Un peatón que circula por la carretera es capaz de ver las luces. El dibujo está dividido en cuatro secciones. ¿En qué sección hay luz? Explica tu respuesta.



- 3ª Tenemos una caja completamente cerrada excepto un pequeño orificio que permite el paso de un rayo de luz, además dispone de una ventana de cristal que permite observar lo que ocurre en su interior (ver dibujo). ¿Qué crees que observarías?



- 4ª ¿Dónde se verá iluminada la pantalla blanca? Dibújala.

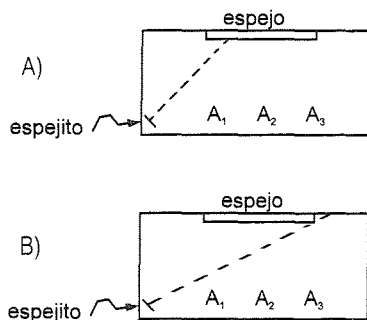


Visión

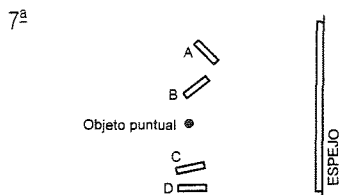
- 5ª Explica cómo vemos los objetos que no son luminosos (p.e. este cuestionario).

Reflexión y Refracción

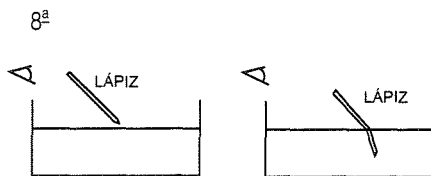
- 6ª En un aula que dispone de un gran espejo sobre la pared, nos instalamos en un rincón opuesto y con la ayuda de un pequeño espejito desviaremos los rayos de luz que incidan sobre él



- Para el caso A: ¿quiénes verán la mancha de luz sobre el espejo de la pared?
 Para el caso B: en el caso de que incida sobre la pared ¿quiénes verán la mancha (la mancha de luz)?



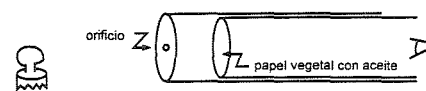
Indica los tubos por los que verías dicho objeto puntual.



- 8ª ¿Por qué se ve el lápiz doblado dentro del agua?

Imágenes

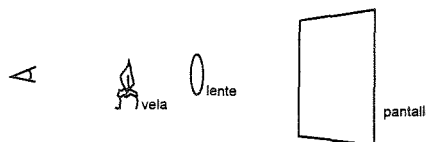
- 9ª Hacemos la siguiente experiencia: fabricamos dos tubos de cartulina negra, uno con un diámetro un poco mayor que el otro; el grande se tapa por una base practicándole un pequeño orificio, al otro se le tapa con papel vegetal untado en aceite. A continuación hacemos encajar los dos tubos. Si enfocamos hacia un objeto el cual estuviese iluminado lo observaremos invertido ¿Por qué?



- 10ª Si colocamos una lámina de papel frente a la vela. ¿Qué verías si estuvieses situado/a en la posición A? Justifícalo.



- 11ª Si ahora colocamos una lente (lupa) entre la vela y la pantalla, ¿qué veríamos?



Colores

- 12ª Explica por qué «la hierba es verde»
 13ª Indica cinco o más relaciones de la óptica con la sociedad.

Los ítems 1, 2 y 3 demuestran que la mayoría de los libros no pone de manifiesto las ideas previas de los alumnos sobre la luz (p.e. el carácter material o no de la luz, la identificación de la luz con las fuentes, la visibilidad de la luz) (ítem 1), sobre el mecanismo de visión (p.e. relaciones entre fuente-objeto-ojo) (ítem 2) y sobre los colores (p.e. piensan que no existe relación entre la luz y el color) (ítem 3). Esto es más acentuado en el nivel superior (3º B.U.P. y C.O.U.) como si en él se considerasen superados todos estos preconceptos de los alumnos.

Aunque el ítem 4 pone de manifiesto como casi la mitad introducen los diversos modelos para explicar la luz y su comportamiento, la mayoría no muestra la controver-

sia entre dichos modelos y sus limitaciones (ítem 5 y 6), con lo cual se da una visión falsa del desarrollo de la Física.

Por otra parte aunque más de la mitad de los textos pone de manifiesto las condiciones de visión de las imágenes (p.e. correspondencia punto a punto entre objeto e imagen) (ítem 7) sobre todo en los niveles 1 y 2, se trata de una visión muy teórica que no puede explicar la visión cotidiana de imágenes y colores. En efecto al no aclarar el papel de la reflexión difusa en la visión (ítem 9), aunque muchos hablen de ella (ítem 8) ni el de los colores (p.e. el papel de la absorción en el origen de los colores, las diferencias entre mezcla aditiva y sustractiva) (ítem 10), no explican los mecanismos

que originan la mayor parte de la luz que proveniente de los «objetos» llega a nuestros ojos (receptores).

En el ítem 11 vemos que todos los textos de E.G.B. proponen la realización de experiencias. Este porcentaje se reduce a menos de la mitad al aumentar el nivel, como si esto excluyese los trabajos prácticos. Señalar que si bien el porcentaje de prácticas propuestas (53,7%) parece falsar nuestra hipótesis, lo que sucede en la práctica (como veremos) es que los profesores suelen «recortar» estos aspectos.

En el ítem 12 sólo la mitad de los textos muestran aplicaciones técnicas de la óptica. Prácticamente ninguno presenta implicaciones sociales (ítem 13). Como en el ítem 11

TABLA I:
Resultados análisis de textos.

ITEM	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
	E.G.B. n = 13 (%)	2º B.U.P./F.P.-I n = 16 (%)	3º B.U.P./COU n = 12 (%)
1	23,1	31,3	0,0
2	53,8	50,0	8,3
3	30,8	6,3	0,0
4	15,4	62,5	41,7
5	0,0	25,0	16,7
6	7,7	25,0	25,0
7	76,9	81,3	0,0
8	53,8	56,3	8,3
9	15,4	18,8	0,0
10	46,2	6,3	0,0
11	92,3	43,8	25,0
12	61,5	56,3	8,3
13	53,8	25,0	0,0

TABLA II:
Resultados análisis de textos nivel superior.

ITEM	NIVEL 3
	3º B.U.P./COU n = 12 (%)
1	33,3
2	50,0
3	16,6
4	8,3
5	8,3
6	41,6

los porcentajes más altos se dan en E.G.B., disminuyendo al aumentar el nivel.

En lo que respecta a las cuestiones para el nivel superior (ver tabla II), la mayoría (un 76%) se limita a un tratamiento formal del movimiento ondulatorio, sin presentar la luz como onda. Los ejemplos son mecánicos (item 1).

Solamente la mitad de los libros de texto encuestados hace referencia a la relación de la óptica con el electromagnetismo mencionando que la luz es una onda electromagnética (item 2).

Se soslaya en los libros la importancia de la absorción y dispersión de la luz llegando a citar dichos fenómenos sólo un 17% (item 3).

Prácticamente la totalidad de los libros de texto de este nivel (un 91%) no explican que la luz se origina por la transición de electrones en niveles atómicos, moleculares, por frenado de cargas, etc. (item 4).

Con el mismo porcentaje (un 91%) que en el ítem anterior no mencionan la absor-

ción de la luz en relación a la visión de los colores (item 5).

En cambio en respuesta al ítem 6 nos encontramos con un 58% que no cita la relación de los fotones con la intensidad de la luz.

4.2. Resultados de la cuestión para profesores

La totalidad del profesorado encuestado (ver tabla III) no tiene en cuenta las ideas previas de los alumnos en los diferentes niveles; esto sólo permite introducir los conceptos sin permitir que el alumno reflexione sobre ellos.

En cuanto al tratamiento metodológico de los temas de óptica se observa que son los profesores de E.G.B. los que realizan un enfoque más práctico siendo muy pocos los de medias, destacando los que imparten las asignaturas de E.A.T.P., especialmente la Astronomía (8%).

Un 25% del profesorado de EE.MM. encuestado da un tratamiento conceptual a los temas, siendo un 35% quienes hacen un planteamiento más formal.

Así mismo observamos una mayor sensibilidad por parte del profesorado de E.G.B. (un 71% de ellos) en cuanto a considerar las aplicaciones de la óptica, disminuyendo ese porcentaje al 35% en medias. Sólo el 14% del profesorado de E.G.B. tiene en cuenta las implicaciones en la sociedad, para el resto del colectivo de enseñantes el porcentaje es muy bajo.

El tratamiento más formal ocasiona el que la mayor parte de las veces no se clarifiquen las relaciones entre los diversos modelos sobre la luz. A la inversa de lo que sucede en los casos anteriores es el colectivo de enseñantes de medias el que más tiene en cuenta estos aspectos (un 25%) frente a un 14% de E.G.B.

Por último, aparece como un dato bastante significativo que un 21% señale explícitamente que no suele impartir óptica porque lo consideran menos importante que otros temas, aduciendo la extensión del temario.

4.3. Resultados del cuestionario de alumnos

El cuestionario de alumnos elaborado se ha pasado a una muestra compuesta por:

- a) 61 alumnos de 3º de E.S.O. (nivel 1)
- b) 137 alumnos de 4º E.S.O. y 2º B.U.P. (nivel 2)
- c) 56 alumnos de 3º B.U.P. y 2º de Bachillerato de Ciencias de Reforma (nivel 3).

No se observan diferencias significativas entre los alumnos de los niveles 1 y 2. En la tabla IV se presentan los resultados que comentamos a continuación:

TABLA III:
Resultados cuestionario de profesores/as.

	E.G.B. n = 7 (%)	MEDIAS n = 28 (%)	TOTAL N = 35 (%)
Ideas previas	0,0	0,0	0,0
Entoque de temas:			
Práctico	57,1	10,7	20,0
Formal	28,6	35,7	34,3
Conceptual	0,0	25,0	20,0
No trata el tema	28,6	21,4	22,9
Relaciona modelos	14,3	25,0	22,9
Indica aplicación	71,4	35,7	42,9
Implicación social	14,3	3,8	5,7

TABLA VI.
Resultado cuestionario de alumnos.

NIVEL		3º eso	4º eso/ 2º bup	3º bup/ 2º bto. ref.	TOTAL
ITEM		n = 61 (%)	n = 137 (%)	n = 56 (%)	N = 254 (%)
1	C	14,8	22,6	33,9	23,2
	I	68,9	63,5	60,7	64,2
	NS/NC	16,4	13,9	5,4	12,6
2	C	26,2	28,5	30,4	28,3
	I	72,1	65,0	67,9	67,3
	NS/NC	1,6	6,6	1,8	4,3
3	C	1,6	3,6	5,4	3,5
	I	95,1	90,5	94,6	92,5
	NS/NC	3,3	5,8	0,0	3,9
4	C	31,1	21,2	41,1	28,0
	I	63,9	68,6	55,4	64,6
	NS/NC	4,9	10,2	3,6	7,5
5	C	4,9	4,4	23,2	8,7
	I	60,7	71,5	69,6	68,5
	NS/NC	34,4	24,1	7,1	22,8
6A	C	13,1	10,2	35,7	16,5
	I	72,1	71,5	60,7	69,3
	NS/NC	14,8	18,2	3,6	14,2
6B	C	34,4	52,6	71,4	52,4
	I	47,5	28,5	26,8	32,7
	NS/NC	18,0	19,0	1,8	15,0
7	C	8,2	8,0	7,1	7,9
	I	85,2	77,4	87,5	81,5
	NS/NC	6,6	14,6	5,4	10,6
8	C	14,8	11,7	53,6	21,7
	I	57,4	62,0	39,3	55,9
	NS/NC	27,9	26,3	7,1	22,4
9	C	8,2	5,8	21,4	9,8
	I	27,9	29,2	39,3	31,1
	NS/NC	63,9	65,0	39,3	59,1
10	C	21,3	13,1	16,1	15,7
	I	67,2	68,6	82,1	71,3
	NS/NC	11,5	18,2	1,8	13,0
11	C	9,8	6,6	23,2	11,0
	I	72,1	60,6	71,4	65,7
	NS/NC	18,0	32,8	5,4	23,2
12	C	3,3	0,7	21,4	5,9
	I	47,5	48,9	67,9	52,8
	NS/NC	49,2	50,4	10,7	41,3
13	< 5	32,8	35,0	78,6	45,3
	5 ó más	8,2	8,8	3,6	7,5
	NS/NC	59,0	57,7	17,9	47,2

En el ítem 1 aparece un número de respuestas bastante elevado que ponen de manifiesto un error conceptual muy extendido entre los alumnos: la confusión entre las fuentes y la luz (porcentajes superiores al 60% en todos los niveles), observándose un aumento en el número de respuestas correctas a medida que el nivel aumenta.

El ítem 2 ha sido extraído del artículo de Anderson y Kärrquist, observándose una gran correlación con sus resultados: entre un 62 y un 74% de respuestas incorrectas consideran que la distancia que la luz puede atravesar esta limitada al alcance de sus efectos visibles.

En el ítem 3 el porcentaje de alumnos que indican que sólo vería un punto de luz en la pared opuesta es extraordinariamente reducido (un 3,5%); la mayoría de las respuestas consideran que la luz se ve, representándola como un rayo continuo desde el foco hasta la pantalla (un 55,9%)

En el ítem 4 un 65% de los alumnos parece ignorar la propagación rectilínea de la luz, en clara contradicción con los resultados del ítem anterior. La respuesta incorrecta más frecuente es considerar que se verá iluminada toda la pantalla.

En el ítem 5 casi el 70% del alumnado no es capaz de señalar el mecanismo completo de la visión (fuente de luz-objeto-ojo). De hecho, un 41% del total se limita a la relación fuente-objeto siendo los alumnos de tercer nivel aquellos con más respuestas correctas.

En el ítem 6a tenemos un 70% de respuestas incorrectas. Un 28% piensa que cuando se hace incidir luz sobre el espejo esta es observada por cualquier persona independientemente del lugar que ocupe en la habitación utilizando incorrectamente la ley de la reflexión. El ítem 6b pone de manifiesto que están confundiendo los fenómenos de reflexión especular y difusa.

El ítem 7 pone de manifiesto que la mayoría del alumnado no utiliza correctamente la igualdad entre ángulos de incidencia y reflexión. Sólo un 8% da una respuesta correcta. El resto sólo considera ángulos aproximados.

En el ítem 8 sólo la mitad de los alumnos de tercer nivel parecen conocer el fenómeno de la refracción. Este porcentaje disminuye considerablemente (entre un 12 y un 15%) en los alumnos de grupos inferiores. Un 36% del total parece atribuir la causa de que se vea el lápiz doblado en el agua, a ella misma o a sus propiedades.

En el ítem 9 encontramos uno de los porcentajes de respuestas en blanco más elevados. Sólo tenemos un 10% de respuestas correctas (un 5% señala que la cámara se comporta como lente). Para un 21% del total de los encuestados la aparición de la imagen en el papel vegetal parece ser una consecuencia del aceite que lo impregna.

Los ítems 10 y 11 han sido extraídos del trabajo de Kaminski (1989). En el ítem 10 sólo un 16% de los alumnos señalan correctamente que veríamos el papel iluminado. Un 34% del total parecen considerar que se «proyectaría» la imagen o la sombra de la vela.

En el ítem 11 aún menos alumnos (un 11%) señalan que la lente invierte la imagen de la vela. Algunos basándose en sus experiencias con la lupa (cuando miran objetos con ellas o cuando hacen converger rayos provenientes de fuentes lejanas) señalan

que la lente aumenta la vela o que se ve un punto o un círculo iluminado).

En el ítem 12 muy pocos alumnos (un 6%) atribuyen los colores a la absorción por los objetos de una parte del espectro luminoso, la mayoría de las respuestas consideran el color como una propiedad de los objetos independientemente de la luz y, por ello, lo atribuyen a la composición de la hierba (a la savia, clorofila, etc.).

Por último el ítem 13 muestra un elevado porcentaje de los alumnos 1 y 2 que no conocen ninguna aplicación de la óptica. El conocimiento de las aplicaciones mejora en los alumnos del tercer nivel aunque muy pocos entre ellos son capaces de señalar más de cinco, tal y como se solicitaba en el ítem.

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los resultados analizados en el apartado anterior parecen confirmar nuestras hipótesis. Hemos encontrado en los libros de texto y profesores un tratamiento de la óptica deficiente (tanto a nivel científico como didáctico).

Como consecuencia de ello la comprensión de los conceptos básicos de la óptica por parte de nuestros alumnos/as es muy deficiente, incluso en los niveles superiores (3º B.U.P., 2º Bto. Reforma).

Además incurrir en numerosos errores conceptuales.

Más en concreto, los resultados obtenidos con textos y profesores muestran que la inmensa mayoría:

- no cuestionan las ideas previas de los alumnos sobre la luz, lo que favorece su persistencia.
- muestran los diversos modelos sobre la luz, mayoritariamente en los niveles superiores, pero no aparece la controversia existente entre ellos, sus limitaciones, etc., lo cual no favorece la comprensión sobre la naturaleza de la luz.
- no explican los mecanismos mediante los que la luz «llega» de los objetos a los ojos (reflexión difusa, absorción, etc.). Esto obstaculiza la comprensión de la visión de imágenes y colores.
- no proponen la realización de experiencias, muestran escasamente las aplicaciones técnicas y hay una ausencia prácticamente total de las implicaciones sociales.

Por otra parte, los resultados con los alumnos ponen de manifiesto que la mayoría:

- asimilan la luz con sus fuentes, consideran que la distancia que la luz puede atravesar está limitada al alcance de sus efectos visibles, que la luz se ve.
- aplican la propagación rectilínea en unos fenómenos, pero parecen ignoraría en otros similares.
- limitan el mecanismo de la visión a la relación fuente-objeto, sin considerar que los rayos vayan del objeto hasta el ojo.
- aplican incorrectamente la ley de reflexión (especular) y no distinguen entre reflexión especular y difusa.
- desconocen el fenómeno de la refracción y lo atribuyen sólo a propiedades del medio (no de la interacción de la luz con este).
- no comprenden la formación de imágenes convergentes, cámaras oscuras.
- consideran el color como una propiedad de los objetos independiente de la luz.
- desconocen las aplicaciones prácticas de la óptica

En resumen, se trata de una situación muy preocupante porque los alumnos, incluidos los de cursos superiores no comprenden ni los fenómenos ópticos más elementales.

Esto plantea la necesidad de profundizar y ampliar este estudio de la situación y, por otra parte, la de elaborar materiales que permitan superar los problemas aquí detectados, utilizarlos con alumnos/as y contrastar los resultados obtenidos con los aquí mostrados.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, B. y KÄRROQUIST, C., 1983: "How Swedish pupils aged 12-15 years, understand light and its properties", *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 5, (4), pp. 387-402.
- BELLENDEZ, A., PASCUAL, I. y ROSADO, C., 1989: "La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 7, nº 3, pp. 271-277.
- GIL, D., 1983: "Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 1, pp. 26-33.

- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1983: "A model for problem solving in accordance with scientific methodology", *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 5, pp. 447-455.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J., 1985: "Science learning as a change", *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 7, nº 3, pp. 231-236.
- GIL, D., SENENT, F. y SOLBES, J., 1989: "La Física la enseñanza secundaria: Una propuesta fundamentada y unos resultados", *Revista Española de Física (Anales C)*, vol. 3, nº 1, pp. 53-59.
- GUESNE, E., 1989: *La luz. Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Ediciones Morata-MEC/Madrid, pp. 31-62.
- HASHEWH, M. Z., 1986: "Towards an explanation of conceptual change", *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 8, nº 3, pp. 229-249.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A., 1984: *La ciencia de los alumnos*. Ediciones Laia-MEC/Barcelona, pp. 191-214.
- KAMINSKI, N., 1989: "Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière", *Butletin de l'union de Physiciens*, nº 716, pp. 973-996.
- LA ROSA, C. et al., 1984: "Common sense knowledge in optic preliminary results of an investigation into property of light", *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 6, nº 4, pp. 387-397.
- PERALES, F. J., 1987: "Análisis de contenidos en óptica geométrica", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 5, nº 3, pp. 211-219.
- POSNER, G. et al., 1982: "Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change", *Science Education*, 66, pp. 211-227.
- SOLBES, J., BERNABEU, J. et al., 1988: "Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la Física Cuántica", *Revista Española de Física*, vol. 2 (2), pp. 83-90.
- SOLBES, J. y VILCHES, A., 1989, "Interacciones ciencia/técnica/sociedad: un instrumento de cambio actitudinal", *Enseñanza de las Ciencias*, 7, pp. 14-20.
- SOLBES, J. y MARTÍN, J., 1991: "Análisis de la introducción del concepto de campo", *Revista Española de Física*, vol. 5, nº 3, pp. 34-39.
- TIBERGHEN A. et al., 1980: "Conceptions de la lumière chez l'enfant 10-12 ans", *La Revue Française de Pédagogie*, vol. 50, pp. 24-41.
- VIENNOT, L., 1976: *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Tesis Doctoral. Université Paris 7. (Publicada en 1979 por Herman: París).

Jordi Solbes Matarredona
*está en el Programa de Innovación y
 Reforma Educativa. Valencia*
J. Zacarés García
*está en el Centro de E.S.O.
 La Florida. Catarroja*