

EVALUACIÓN DE LA ENSEÑANZA PROBLEMATIZADA SOBRE LA LUZ Y LA VISIÓN EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA

ASSESSMENT OF PROBLEM-BASED TEACHING OF LIGHT AND VISION IN
COMPULSORY SECONDARY EDUCATION

Luis Osuna García
Joaquín Martínez Torregrosa
Asunción Menargues Marcilla
Universidad de Alicante

RESUMEN: Después de la planificación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión para la ESO (12-16 años) y haber obtenido pruebas empíricas de su relevancia didáctica potencial (Osuna *et al.*, 2007), en este nuevo trabajo presentamos los resultados de la puesta en práctica de una secuencia de enseñanza diseñada según las indicaciones de esa planificación. En concreto, mostramos que su aplicación en el aula produce mejoras en los niveles de comprensión del modelo de visión de Kepler, considerado el objetivo clave de la enseñanza de la óptica geométrica en este nivel educativo. Aunque el tema resulta dificultoso, los estudiantes mejoran los indicadores de apropiación (orientación, implicación y actitud favorable).

PALABRAS CLAVE: Enseñanza problematizada, modelo de visión, obstáculo conceptual, óptica.

ABSTRACT: Following the planning of problem-based teaching about light and vision for ESO (12-16 years) and obtaining empirical evidence of its potential educational relevance (Osuna *et al.*, 2007), this new work presents the results of the implementation of a teaching sequence designed according to that planning. In particular, we show that its implementation in the classroom leads to an improved understanding of Kepler's vision model, which is considered a key objective in the teaching of geometrical optics at this level. Although the subject is difficult, all indicators of students' ownership improve (orientation, involvement and positive attitude).

KEY WORDS: Problem-based teaching & learning, vision model, conceptual obstacle, optics.

Fecha de recepción: julio 2010 • Aceptado: febrero 2012

Para citar: Osuna, L.; Martínez-Torregrosa, J. y Menargues, A. (2012). Evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (3), pp 295-317

INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planificación de la enseñanza con una estructura de investigación orientada (Gil, 1993; Guisasaola *et al.*, 2008; Martínez-Torregrosa *et al.*, 1993; Verdú *et al.*, 2002; Becerra, Gras y Martínez-Torregrosa, 2011) requiere un estudio histórico y epistemológico realizado con «intencionalidad didáctica» y con conocimiento práctico sobre los alumnos y el aula, para que sea útil y factible para enseñar y aprender (Duit *et al.*, 2005; Furió *et al.*, 2006).

La historia revela que la óptica se ha ido construyendo con objeto de comprender la visión humana, por lo que se trata de una ciencia compleja que participa de conocimientos de física, fisiología y psicología (Ronchi, 1987). Los diferentes conceptos implicados en esta ciencia han conformado, en las primeras etapas, un modelo geométrico que culminó Kepler en 1604, sin necesidad de abordar la naturaleza de la luz, y que supera los obstáculos e inconsistencias de los modelos griegos y medievales anteriores (Ferraz, 1974). Esta explicación de la visión humana puede sintetizarse en el siguiente esquema:

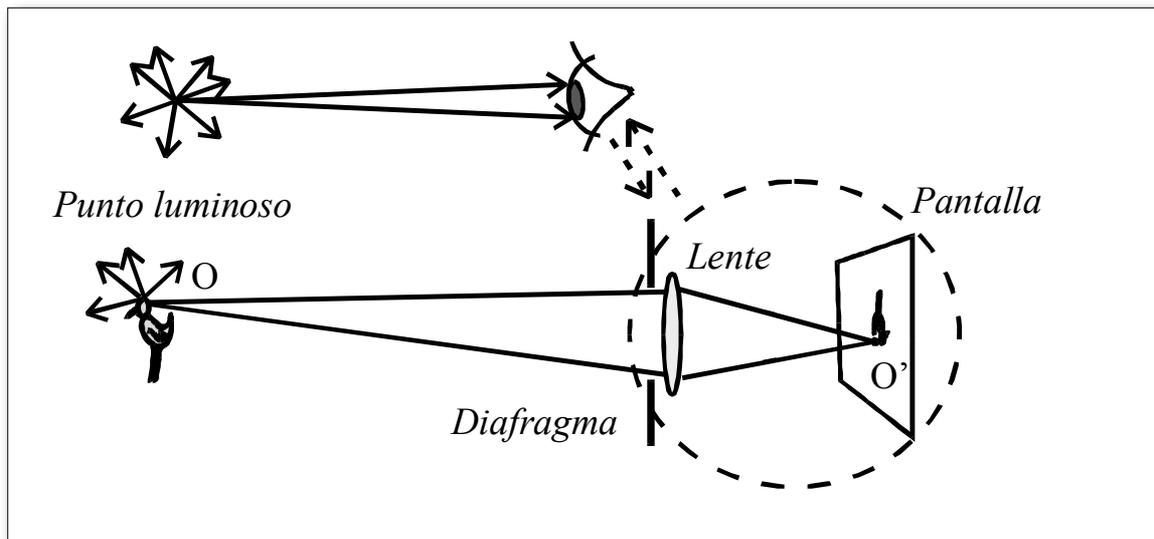


Fig. 1. Modelo de visión de Kepler.

En este modelo¹ (Kepler, 1604), la luz es el ente físico intermediario entre el objeto y el ojo, que produce la sensación de la visión. Cada punto del objeto emite una esfera de luz y los rayos dibujados, sin entidad real, no son nada de la propia luz, solo se trazan para limitar la sección del haz cónico divergente que entra en el ojo o del haz convergente que llega a la retina.

El ojo puede ser simplificado como un sistema óptico convergente y una pantalla donde se forma la imagen retiniana. Para ello, la luz emitida por cada punto del objeto y que entra en el ojo se concentra en un punto de la retina. Esta imagen, constituida por el conjunto de estos puntos, es una réplica de la luz emitida por el objeto, de sus distintos tipos de luz, de sus intensidades relativas, etc. El cerebro, conectado a la retina, es capaz de elaborar la sensación de la visión.

Para explicar la visión indirecta, al mirar a un espejo, a un objeto sumergido o a través de lentes, este modelo elabora explicaciones con solo dos hipótesis complementarias: la reflexión y refracción de cada rayo, sin necesidad de abordar la naturaleza de la luz.

1. Modelo de visión de Kepler.

Este modelo es sencillo y tiene la suficiente capacidad explicativa y predictiva para que pueda ser objeto de enseñanza tanto en la ESO como en bachillerato. No obstante, a pesar de los avances respecto a los modelos de visión históricos anteriores, presenta algunas limitaciones y carencias: la visión del color, las aberraciones geométricas y cromáticas, el mecanismo de elaboración de la sensación visual, etc.

Del análisis histórico que concluye con el modelo de Kepler se pueden sugerir las metas parciales o los pasos necesarios que hay que contemplar para su comprensión, así como los obstáculos previsibles. Estos son:

a) Disponer de un modelo de visión en el que se relacionen la luz, el objeto y el ojo del observador. Lo que supone superar los siguientes obstáculos:

- Interpretar la visión como un proceso en el que *algo* es emitido por el ojo o una imagen del objeto llega hasta él.
- No creer necesario que los objetos que vemos sean fuentes de luz («la luz existe y es necesaria para que veamos los objetos, pero estos no emiten luz»).
- Considerar que solo hay luz cuando existen fuentes luminosas u objetos iluminados, por lo que no se considera una entidad física independiente en el espacio («la luz está en los objetos luminosos o zonas iluminadas»).

b) Disponer de un esquema de representación geométrico e idealizado de la propagación de la luz potencialmente explicativo. Lo que supone superar los siguientes obstáculos:

- Creer que la luz o los rayos de luz se ven.
- No considerar las fuentes extensas como conjuntos de fuentes puntuales que emiten luz en todas las direcciones.
- No realizar trazados de haces divergentes de luz desde cada punto de la fuente luminosa.

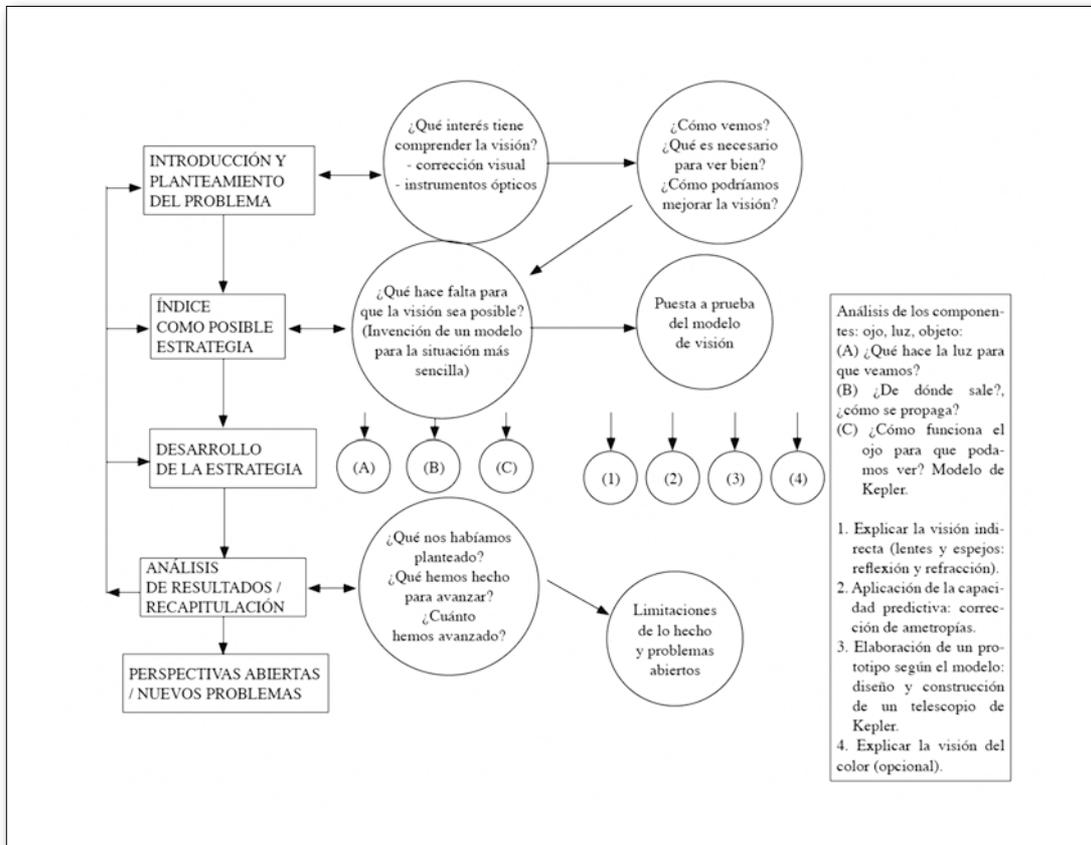
c) Concebir la imagen óptica de acuerdo con el modelo de visión de Kepler. Lo que supone superar los siguientes obstáculos:

- Creer que la imagen se traslada «ya hecha» desde el objeto (semejante a las antiguas concepciones griegas) o que los rayos son portadores de cada uno de los puntos de la imagen (similar a la concepción de Alhazen).
- No considerar el ojo como un instrumento óptico formador de imágenes, lo que lleva a creer que la imagen tiene existencia independientemente del ojo.

Los obstáculos que hemos derivado de este análisis son coherentes con las conclusiones de multitud de trabajos sobre ideas espontáneas realizados en el campo de la óptica (Andersson y Karrquist, 1983; Guesne, 1989; La Rosa *et al.*, 1984; Osborne *et al.*, 1993; Goldberg y McDermott, 1987; Galili y Hazan, 2000a; Galili y Hazan, 2000b; Dedes, 2005; etc.).

En un trabajo anterior (Osuna *et al.*, 2007), hemos mostrado la relevancia didáctica de esas metas parciales y obstáculos previsibles, lo que nos permite afirmar que tanto antes como después de la enseñanza habitual los estudiantes de la ESO interpretan la visión directa e indirecta sin que sea necesario que llegue luz al ojo procedente de los objetos; no disponen de un esquema de representación geométrico e idealizado de la luz y, menos aún, de un concepto de imagen óptica acorde con el modelo de visión de Kepler. Asimismo, nos ha permitido seleccionar los problemas de *cómo vemos* y *cómo podemos ver mejor* para estructurar la enseñanza de la óptica en la ESO y proponer una posible estrategia didáctica que nos facilite su solución. En el gráfico de estructura problematizada representado en el cuadro 1 presentamos esquemáticamente estas ideas.

Cuadro 1.
Gráfico de estructura problematizada del tema para 2.º ciclo de la ESO:
¿cómo vemos? y ¿cómo podemos ver mejor?



En la estructura problematizada del tema, el índice o el plan lógico que hay que seguir consta de dos apartados. En el primero se construye un modelo para la visión directa. Para ello, la secuencia de actividades se centra en primer lugar en probar que los objetos iluminados también son fuentes de luz, que la luz es una entidad independiente, que puede ser tratada geoméricamente, y que el rayo no tiene entidad real, únicamente limita el haz divergente emitido por cada punto de las fuentes luminosas. Asimismo, se realizan actividades que permiten explicar la visión como un proceso en el que la luz procedente del objeto entra en el ojo, siendo este modelizado como un sistema óptico formado por una lente convergente y una pantalla conectada al cerebro. Ese sistema permitirá, además, construir el concepto de imagen óptica de acuerdo con el modelo de visión de Kepler.

El segundo apartado es una puesta a prueba de ese modelo. En primer lugar, se aplica a la visión indirecta, cuando se mira a un espejo plano o cuando el objeto está sumergido en agua. En esta estrategia no es necesario abordar el problema de la naturaleza de la luz para la formulación de las hipótesis de la reflexión y refracción. También es de gran interés probar que con el modelo elaborado se pueden explicar de forma cualitativa las anomalías visuales más corrientes y su corrección. La construcción del telescopio de Kepler y la explicación de la visión del color quedan, en este nivel de enseñanza, como aspectos complementarios para la profundización y ampliación de los conocimientos.

Por su extensión, no es posible presentar aquí con detalle la secuencia de enseñanza elaborada objeto de evaluación, aunque los lectores interesados pueden consultarla en <http://hdl.handle.

net/10045/4625>, donde se incluyen, además, recomendaciones y comentarios apropiados para los profesores que deseen llevarla al aula.

Así pues, a partir de esta planificación de la enseñanza de la óptica y de la puesta en práctica de esa secuencia de enseñanza, en este artículo se abordarán las siguientes cuestiones:

¿Se favorecerá con la aplicación de esta secuencia de enseñanza un aprendizaje con comprensión del tema y una mejora en las actitudes de los alumnos?

¿Se producirán mejoras notables respecto a la situación actual?

Formulación de hipótesis

La puesta en práctica de secuencias de enseñanza en las que se contemplen las aportaciones teóricas de la investigación didáctica y el conocimiento práctico de los profesores está siendo reclamada en trabajos recientes (Andersson y Bach, 2004; Meheut y Psillos, 2004).

Por nuestra parte, esperamos mostrar que «la puesta en práctica de la secuencia de enseñanza con estructura problematizada que hemos elaborado produce mejoras sustanciales respecto a la enseñanza habitual».

En el campo de la física y química, la enseñanza por investigación orientada ha mostrado resultados esperanzadores en la elaboración de temas concretos (Doménech, 2000; López-Gay, 2002; Martínez-Sebastián, 2002; Becerra, 2004). Además, nuestra hipótesis queda justificada por los propios resultados del estudio empírico al que venimos haciendo referencia y por las carencias de la enseñanza que muestran los libros de texto habituales y los profesores en este campo de la física (Hirn y Viennot, 2000). Sin embargo, no debemos minusvalorar los aspectos actitudinales y metacognitivos intrínsecamente relacionados con los conceptuales. En un ambiente colectivo de búsqueda de un modelo de visión, con un plan de investigación explícito, donde se tienen oportunidades para expresar y discutir las ideas iniciales, para tratar las contradicciones, donde existen ocasiones de poner a prueba los nuevos conocimientos, donde la evaluación recoge aspectos de autorregulación, etc., es de esperar que los alumnos mejoren la comprensión de los conceptos implicados y, a la vez, adquieran actitudes positivas hacia el aprendizaje de conocimientos científicos. La importancia que tiene la mejora de estos últimos aspectos viene siendo resaltada desde diferentes líneas de investigación (Novak, 1988; White *et al.*, 1989; Bransford *et al.*, 2000).

DISEÑOS EXPERIMENTALES

Diseño experimental para contrastar la mejora de la comprensión conceptual

Desde el punto de vista de nuestra investigación, las metas parciales señaladas anteriormente pueden ser consideradas como indicadores de comprensión del modelo de visión de Kepler. Pero, dado que los estudiantes tienen ideas y razonamientos que son obstáculos y que deben contemplarse si deseamos que se apropien del modelo, podemos utilizar esos obstáculos para hacer operativa la hipótesis. Así, compararemos la comprensión conceptual adquirida por los alumnos tratados con la de alumnos no tratados del mismo nivel y de 2.º de bachillerato. Lo que se hará mediante:

- a) Comparación del porcentaje de alumnos tratados y no tratados que superan los obstáculos para conseguir la apropiación funcional del modelo de visión de Kepler. El cuestionario utilizado y que se muestra en el anexo 1 fue utilizado con distintos alumnos (Osuna *et al.*, 2007) para probar la relevancia de las metas parciales señaladas y de los obstáculos previsibles.

- b) Categorización por consenso entre expertos de una gradación de niveles de comprensión del modelo y asignación de cada alumno (tratado y no tratado) a un nivel determinado. Posteriormente, se compararán los porcentajes de los alumnos de grupos experimentales y de control que alcanzan cada nivel y su nivel medio.

Para someter a pruebas más exigentes la eficacia de nuestra secuencia, compararemos el conocimiento mostrado por alumnos tratados de la ESO, inmediatamente después de la enseñanza y un año después de haber recibido instrucción (grupos experimentales), con el de los alumnos no tratados del mismo nivel, antes y después de la enseñanza habitual, y con alumnos de Física de 2.º curso de bachillerato, inmediatamente después de haber acabado un tema sobre óptica geométrica (grupos de control).

Establecer los niveles de comprensión globales y comparar los porcentajes de alumnos que adquieren cada nivel en los grupos de control y experimentales ha sido un proceso muy laborioso. Los investigadores acordaron la revisión pormenorizada de los cuestionarios (fijando su atención en 42 aspectos de estos), atendiendo incluso a la cantidad y calidad de las explicaciones que utilizan, lo que se justifica por la íntima relación que tiene el grado de comprensión de los modelos científicos con la capacidad de explicación de estos (Lemke, 1997; Osborne *et al.*, 2004; Guisasola *et al.*, 2004).

Para categorizar las respuestas de los alumnos, dos investigadores han asignado independientemente el nivel de conocimientos. Se han discutido los casos de desencuentro y los dudosos para codificar más exactamente los niveles de comprensión (Marton y Booth, 1997, Hogan y Maglienti, 2001). Así, hemos caracterizado cinco niveles de comprensión del modelo de visión de Kepler:

- Nivel 0: Nivel de los alumnos en los que no se detecta ninguna característica relevante de este modelo. Los estudiantes de este nivel presentan obstáculos a cada una de las metas parciales y describen los procesos de visión con características de razonamiento tautológico. Es usual el empleo de frases como «Veo porque miro».
- Nivel 1: Nivel de los alumnos que adquieren alguna característica importante del modelo de visión de Kepler, pero muestran contradicciones evidentes y usan razonamientos no apoyados en él. Por ejemplo, aunque en algunas situaciones puedan opinar que llega luz al ojo procedente del objeto, en otras sostienen que llega una imagen o que los objetos no emiten luz. Para estos alumnos, el ojo no participa en los esquemas ópticos, ya que suelen trazar un único rayo desde un punto del objeto. Las explicaciones suelen ser escasas y se componen de frases puramente declarativas.
- Nivel 2: Nivel de los alumnos que manifiestan más de una característica relevante del modelo de visión y basan alguno de sus juicios en ellas. Los estudiantes describen la visión, en la mayoría de las situaciones, como un proceso en el que el objeto iluminado emite luz hasta el ojo, y consideran los objetos iluminados como fuentes luminosas secundarias. Usualmente representan la luz mediante rayos emitidos por cada punto de la fuente, pero no se puede suponer que hagan uso del haz de luz dado que no se explican las consecuencias que se derivan de ello, ni realizan correctamente la formación de las imágenes con dispositivos ópticos. Explican generalmente los fenómenos ópticos con un número de frases sensiblemente mayor que en el nivel anterior, aunque suelen ser de tipo declarativo.
- Nivel 3: Nivel de los alumnos que conocen todos los aspectos relevantes del modelo aunque su razonamiento sea escasamente argumentativo y no describan o no utilicen con detalle todos los aspectos y consecuencias del modelo. Los estudiantes de este nivel superan las incongruencias de los niveles anteriores, incluso realizan diagramas correctos de formación de la imagen con dispositivos ópticos. Presentan escasos errores en los ítems evaluados y usan con frecuencia frases precisas, generalmente descriptivas. Así, para explicar cómo podemos distinguir la forma y el

tamaño de los objetos que vemos, acompañan los esquemas con frases del tipo: «el haz de luz, al llegar al ojo, se concentra en un punto de la retina», «En la retina se forma una imagen del objeto».

- Nivel 4: Nivel alcanzado por los alumnos que conocen todas las características del modelo y realizan inferencias y argumentaciones basadas en ellas. En este nivel, los alumnos no cometen, prácticamente, ningún error en el cuestionario, asumiendo a la perfección el modelo de visión de Kepler. Utilizan, además, un discurso de naturaleza claramente explicativo-argumentativa.

Se deduce, pues, que los alumnos con un nivel de comprensión funcional, que les permite producir explicaciones y extraer consecuencias basadas en el modelo de visión de Kepler, serán aquellos con nivel de comprensión 3 o 4. En consonancia con nuestra hipótesis, esperamos que los porcentajes de alumnos que adquieran un nivel de comprensión funcional sean sensiblemente mayores en los grupos experimentales que en los de control después de la enseñanza.

Diseño experimental para contrastar la mejora de los indicadores de apropiación y en las actitudes de los alumnos

De acuerdo con el significado de apropiación desarrollado por Verdú et al., 2005, evaluaremos si un alumno muestra apropiación de lo tratado mediante los siguientes indicadores:

1. Orientación, que se pondría de manifiesto cuando conoce el interés de qué se está haciendo (de una forma cualitativa y global). Es consciente de sentirse partícipe de un plan y de saber qué se está buscando, cuánto se ha avanzado o qué se encontrará si el plan se llevara a cabo con éxito.
2. Implicación/motivación, que se pondría de manifiesto cuando se expresa una actitud positiva hacia lo que se está haciendo (atractivo, interesante, etc.) y/o se tiene sensación personal de *avance*, de aprendizaje.
3. Actitud positiva hacia la enseñanza recibida, que se manifestará si los alumnos perciben que dicha enseñanza facilita el aprendizaje y genera actitudes positivas hacia el aprendizaje de la Física y la Química.

En el anexo 2 presentamos un instrumento diseñado según estos indicadores y que ha mostrado su validez en otras investigaciones (Verdú et al., 2005). Este cuestionario pide una valoración de la percepción subjetiva de los alumnos sobre diferentes proposiciones relacionadas con los indicadores de apropiación y las actitudes. La validez de esta valoración no comparada, a efectos de nuestra investigación, se basa en la aceptación de que la escala de 0 a 10 está arraigada en los alumnos españoles, de manera que aunque se pase a grupos independientes permite una valoración con sentido respecto a una norma. Admitiremos que una puntuación de 7 a 10 supone que se está bastante o totalmente de acuerdo con la afirmación, mientras que una puntuación de 4 a 0 significa que se está bastante o en total desacuerdo con la afirmación. Se compararán estadísticamente los valores dados por los grupos experimentales y de control de ESO inmediatamente después de haber recibido instrucción sobre el tema de óptica.

Los resultados que presentamos a continuación se han obtenido en el período 2000-2005, con las siguientes muestras de alumnos:

Muestra ESO-1: 71 estudiantes de 3.º de ESO (13-15 años) de un centro público, antes de recibir enseñanza sobre óptica.

Muestra ESO-2: 183 estudiantes de ESO (13-15 años), 98 de 2.º de ESO de un centro privado y 85 de 3.º de ESO de un centro público, después de recibir enseñanza habitual de la óptica geométrica durante un periodo comprendido entre 10 y 16 sesiones con profesores que mostraron interés por

la enseñanza, que participan habitualmente en actividades formativas, pero que no llevaban a cabo una enseñanza de estructura problematizada. Los alumnos de 2.º de ESO siguieron el tema de óptica utilizando un libro de texto convencional y los de 3º de ESO siguieron las actividades de óptica confeccionadas por el profesor. Se reunieron los resultados en una única muestra al diferir escaso tiempo de escolarización entre ambos. Las respuestas se recogieron después de terminar el tema en una sesión habitual de clase en situación de examen.

Muestra BAC-3: 59 estudiantes de 2.º curso de bachillerato de cuatro centros públicos, después de la enseñanza habitual de la óptica. Los alumnos recibieron instrucción en óptica geométrica utilizando diferentes libros de texto convencionales entre 20 y 24 sesiones de clase. Las respuestas se recogieron pocos días después de terminar el tema.

Muestra ESO-4: 147 estudiantes de ESO de entre 13 y 15 años (126 de 3.º de ESO y 21 de 2.º de ESO), después de la instrucción durante un periodo comprendido entre 22 y 28 sesiones con la secuencia de enseñanza experimental, impartida por un profesor/investigador y 3 profesoras colaboradoras formadas y asesoradas por los investigadores. Estos alumnos son diferentes de los del resto de las muestras de ESO y no fueron influidos por ningún pretest de esta investigación.

Muestra ESO-5: 28 estudiantes de Física y Química de 4.º de ESO (15-16 años) que respondieron el cuestionario el curso siguiente a la puesta en práctica del tratamiento experimental. La muestra es pequeña al tratarse de una asignatura no obligatoria para los estudiantes que continuaron en el centro del investigador.

En lo sucesivo, las muestras ESO-1, ESO-2 y BAC-3 las consideraremos grupos de control, la muestra ESO-1 será tomada como referencia para comparar las mejoras de nuestra secuencia respecto a la situación antes de la enseñanza, y las muestras ESO-4 y ESO-5 las distinguiremos como grupos experimentales.

RESULTADOS

Resultados que muestran la mejora en la comprensión del modelo de visión de Kepler

La tabla 1 muestra una gran disminución de los porcentajes de existencia o persistencia de todos los obstáculos para conseguir el primer paso para la comprensión del modelo de visión de Kepler en los alumnos de los grupos experimentales. Así, por ejemplo, el 90% de alumnos de ESO antes de la enseñanza y el 72% después de la enseñanza habitual piensan que es posible la visión de los objetos sin que llegue luz al ojo del observador (A1), mientras que este porcentaje decrece drásticamente hasta el 27% después de la instrucción experimental, un porcentaje claramente menor, incluso, que el de los alumnos de bachillerato (39%) después de terminar un tema sobre óptica. Resultados similares se obtienen al comparar los porcentajes medios de alumnos que no consideran los objetos iluminados como fuentes luminosas (A2), ni la luz como una entidad física independiente del ojo y de la fuente que viaja en el espacio (A3).

Tabla 1.
Comparación de los obstáculos para la adquisición de un modelo en el que se relacionan el objeto, la luz y el ojo del observador

| A. Obstáculos que indican que no se dispone de un modelo en el que se relaciona el objeto, la luz y el ojo del observador: | Grupos de control | | | | | | Grupos experimentales | | | |
|---|-----------------------|-----|-------------------------|-----------------------|-----|-----|------------------------|---|-----------------------|-----|
| | Antes | | Después de la enseñanza | | | | Final del tratamiento | | Al curso siguiente | |
| | ESO-1 n=71 % Sd | | ESO-2 n=183 % Sd | BAC-3 n=59 % Sd | | | ESO-4 n=147 % Sd | | ESO-5 n=28 % Sd | |
| A1. No consideran necesario que llegue luz al ojo procedente del objeto: | | | | | | | | | | |
| - Para ver directamente. - Para ver directamente. | 89 | 4 | 60 | 4 | 34 | 6 | 14 | 3 | 0 | --- |
| - Para ver en un espejo. | 92 | 3 | 83 | 3 | 36 | 6 | 19 | 3 | 14 | 7 |
| - Para ver un objeto sumergido. | 92 | 3 | --- | --- | 47 | 6 | 47 | 4 | 57 | 9 |
| % medio de existencia o persistencia del obstáculo A1* | 90 | 3 | 72 | 3 | 39 | 6 | 27 | 4 | 24 | 8 |
| A2. No consideran a los objetos iluminados fuentes luminosas, por lo que: | | | | | | | | | | |
| - No señalan que los objetos emitan luz al ser iluminados. | 92 | 3 | 78 | 3 | 53 | 6 | 31 | 4 | 50 | 9 |
| - No citan objetos iluminados como ejemplos de fuentes luminosas. | --- | --- | 76 | 3 | --- | --- | 13 | 3 | --- | --- |
| % medio de existencia o persistencia del obstáculo A2 | 92 | 3 | 77 | 3 | 53 | 6 | 22 | 3 | 50 | 9 |
| A3. No consideran la luz como una entidad física que viaja en el espacio, por lo que: | | | | | | | | | | |
| - Creen que sólo existe luz en las fuentes luminosas o en sus proximidades. | 99 | 1 | 86 | 3 | 70 | 6 | 27 | 4 | 39 | 9 |
| - Creen que la luz desaparece cuando se apaga la fuente luminosa. | 89 | 4 | 92 | 2 | 85 | 5 | 57 | 4 | 50 | 9 |
| % medio de existencia o persistencia del obstáculo A3 | 94 | 3 | 89 | 2 | 78 | 5 | 42 | 4 | 45 | 9 |
| *Al medir la existencia de cada obstáculo de varias formas diferentes, presentamos también el porcentaje medio y una estimación de la desviación estándar como la media de las desviaciones calculadas en cada una de las formas de determinación del obstáculo | | | | | | | | | | |

Estas diferencias a favor de los grupos experimentales se mantienen incluso un año después de haber recibido instrucción. Las diferencias a favor de este grupo (muestra ESO-5) son estadísticamente significativas ($\alpha < 0,01$) respecto al grupo de control de ESO y respecto al grupo de Física de 2.º curso de bachillerato ($\alpha < 0,05$, excepto en A2). Cuando los cuestionarios se pasan inmediatamente después de la enseñanza (muestra ESO-4), las diferencias son estadísticamente significativas en todas las comparaciones ($\alpha < 0,01$).

Tabla 2.
Comparación de los obstáculos para disponer de un esquema de representación idealizado de la luz y potencialmente explicativo/predictivo

| B. Obstáculos que indican que no se dispone de un esquema de representación idealizado de la luz potencialmente explicativo-predictivo: | Grupos de control | | | | | | Grupos experimentales | | | |
|---|-------------------|-----|-------------------------|-----|---------------|----|-----------------------|-----|--------------------|----|
| | Antes | | Después de la enseñanza | | | | Final del tratamiento | | Al curso siguiente | |
| | ESO-1 n=71 | | ESO-2 n=183 | | BAC-3 n=59 | | ESO-4 n=147 | | ESO-5 n=28 | |
| | % | Sd | % | Sd | % | Sd | % | Sd | % | Sd |
| B1. Creen que la propia luz es visible. | 83 | 4 | 73 | 3 | 59 | 6 | 31 | 4 | 54 | 9 |
| B2. No consideran las fuentes extensas de luz como conjuntos de emisores puntuales: | | | | | | | | | | |
| – Al explicar la visión directa de un objeto. | 83 | 4 | 88 | 2 | 59 | 6 | 33 | 4 | 32 | 9 |
| – Al representar la luz difundida por un objeto. | 96 | 2 | 94 | 2 | 88 | 4 | 44 | 4 | 61 | 9 |
| – Al explicar la visión de un objeto en un espejo. | 87 | 4 | 94 | 2 | 47 | 6 | 38 | 4 | 36 | 9 |
| – Al explicar la formación de la imagen en una pantalla | 92 | 3 | 73 | 3 | 19 | 5 | 7 | 2 | 4 | 4 |
| % medio de existencia o persistencia del obstáculo B2 | 90 | 3 | 87 | 2 | 53 | 6 | 31 | 4 | 33 | 9 |
| B3. No representan haces divergentes de luz emitidos desde cada punto del objeto: | | | | | | | | | | |
| – Al explicar la visión directa de un objeto | 100 | --- | 97 | 1 | 97 | 2 | 42 | 4 | 71 | 9 |
| – Al explicar la visión de un objeto en un espejo | 100 | --- | 98 | 1 | 97 | 2 | 35 | 4 | 64 | 9 |
| – Al explicar la visión de un objeto sumergido en agua. | 100 | --- | --- | --- | 97 | 2 | 53 | 5 | 93 | 5 |
| – Al explicar la formación de una imagen en una pantalla.. | 100 | --- | 99 | 1 | 93 | 3 | 26 | 4 | 50 | 9 |
| – Al predecir la sombra y penumbra. | 94 | 3 | --- | --- | 76 | 6 | --- | --- | 64 | 9 |
| % medio de existencia o persistencia del obstáculo B3 | 99 | 1 | 98 | 1 | 92 | 4 | 39 | 4 | 68 | 9 |

En la tabla 2 se observan grandes disminuciones en los porcentajes de todos los obstáculos de los estudiantes, siempre a favor del grupo experimental (ESO-4) respecto a los grupos de control del mismo nivel (nivel de significación $\alpha \ll 0,001$), y se mantienen, aunque menos pronunciadas (pero significativas para $\alpha < 0,001$), un año después del tratamiento. No obstante, en este último caso, el 68% no construyen las imágenes mediante haces divergentes de luz, lo que indica que dicho aspecto es difícil de asumir, al menos para alumnos de ESO.

Tabla 3.
Comparación de los obstáculos para adquirir
el modelo de formación de imágenes de Kepler

| C. Obstáculos que indican que no se concibe la imagen la imagen óptica y su formación según el modelo de Kepler: | <i>Grupos de control</i> | | | | | | <i>Grupos experimentales</i> | | | |
|--|--------------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------|----------|------------------------------|----------|-----------------------|----------|
| | Antes | | Después de la enseñanza | | | | Final del tratamiento | | Al curso siguiente | |
| | ESO-1 n=71 % Sd | | ESO-2 n= 183 % Sd | BAC-3 n=59 % Sd | | | ESO-4 n=147 % Sd | | ESO-5 n=28 % Sd | |
| C1. Creen que la imagen se traslada «ya hecha» desde el objeto o que los rayos son | | | | | | | | | | |
| No realizar correctamente los esquemas de formación de la imagen que se ve: | | | | | | | | | | |
| – Al mirar un espejo. | 100 | --- | 99 | 1 | 97 | 2 | 54 | 4 | 93 | 5 |
| – Al mirar hacia un objeto sumergido. | 100 | --- | --- | --- | 95 | 3 | 60 | 5 | 96 | 4 |
| – Al mirar una pantalla donde se ve la imagen formada por una lente convergente. | 100 | --- | 98 | 1 | 86 | 5 | 27 | 4 | 50 | 9 |
| Considerar que la imagen que se ve en una pantalla: | | | | | | | | | | |
| – Se mueve con la pantalla. | 97 | 2 | 95 | 2 | 78 | 5 | 45 | 4 | 75 | 8 |
| – Existe aunque se quite la lente | 91 | 3 | 95 | 2 | 69 | 6 | 60 | 4 | 64 | 9 |
| – Se ve la mitad al tapar media lente | 90 | 4 | 80 | 3 | 73 | 6 | 29 | 4 | 46 | 9 |
| <i>% medio de existencia o persistencia del obstáculo C1</i> | <i>96</i> | <i>2</i> | <i>95</i> | <i>2</i> | <i>83</i> | <i>5</i> | <i>46</i> | <i>4</i> | <i>71</i> | <i>9</i> |
| C2. No consideran el ojo un instrumento óptico formador de imágenes, por lo que: | | | | | | | | | | |
| – No explican la percepción de la forma y el tamaño de los objetos que vemos a partir de la imagen retiniana | --- | --- | 97 | 1 | 53 | 6 | 41 | 4 | 61 | 9 |
| – El ojo no participa como receptor de luz en los trazados gráficos de formación de la imagen en un sistema lente- pantalla. | 100 | --- | 90 | 2 | 97 | 2 | 55 | 4 | 57 | 9 |
| <i>% medio de existencia o persistencia del obstáculo C2</i> | <i>100</i> | <i>---</i> | <i>94</i> | <i>2</i> | <i>75</i> | <i>6</i> | <i>48</i> | <i>4</i> | <i>59</i> | <i>9</i> |

Los datos de la tabla 3 muestran también una clara disminución de los porcentajes de existencia y persistencia de los obstáculos para la comprensión de la imagen óptica en los alumnos de los grupos experimentales. De nuevo, se constata que la mejora que se produce en los alumnos de ESO que han seguido una enseñanza convencional es prácticamente nula, ya que los porcentajes de alumnos que tienen obstáculos para comprender esta meta parcial son similares a los de antes de la enseñanza y cerca del 100% en muchos de los aspectos medidos. Las diferencias en los porcentajes de ambos

obstáculos cuando se comparan los grupos de control de ESO con el experimental un año después de la instrucción, aunque más pequeñas, siguen siendo significativas para $\alpha < 0,01$.

Estos datos se complementan con los resultados obtenidos al adscribir a los alumnos a alguno de los niveles de comprensión globales descritos anteriormente. En la tabla 4 se compara la distribución de esos niveles en los grupos experimentales y de control.

Tabla 4.
Niveles de comprensión del modelo de visión de Kepler alcanzado por los alumnos de grupos experimentales y de control

| | Grupos de control después de la enseñanza habitual | | | | Grupos experimentales inmediatos y después del tratamiento | | | |
|-----------------------|--|-----|-----------------|-----|--|-----|-----------------|-----|
| | ESO-2 N = 183 | | BAC-3 N = 59 | | ESO-4 N = 147 | | ESO-5 N = 28 | |
| | % | Sd | % | Sd | % | Sd | % | Sd |
| Nivel 0 | 58 | 4 | 20 | 5 | 12 | 3 | 0 | --- |
| Nivel 1 | 36 | 4 | 31 | 6 | 16 | 3 | 32 | 9 |
| Nivel 2 | 6 | 2 | 46 | 6 | 38 | 4 | 57 | 9 |
| Nivel 3 | 0 | --- | 3 | 2 | 29 | 4 | 11 | 6 |
| Nivel 4 | 0 | --- | 0 | --- | 5 | 2 | 0 | --- |
| Nivel medio | 0,5 | 0,5 | 1,3 | 0,8 | 2,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 |
| % con nivel funcional | 0 | --- | 3 | 2 | 34 | 4 | 11 | 6 |

Las diferencias que se observan en los porcentajes del nivel de comprensión entre los alumnos de control y los experimentales son tan evidentes (¡solo el 3% de los alumnos de 2.º de bachillerato alcanzan el nivel que consiguen el 34% de los alumnos tratados de 3.º de ESO!) que el análisis estadístico con la «*t* de Student» no aporta información complementaria. Para analizar desde el punto de vista educativo las diferencias en el nivel medio de las muestras, se está extendiendo el uso del estadístico «tamaño del efecto» (Δ) (Casado *et al.*, 1999; Coe, 2002). Dicho parámetro suministra información de la magnitud del efecto producido por un tratamiento entre dos grupos distintos, con independencia de su tamaño. Δ nos indica el número de desviaciones estándar *ponderada* que se separan las medias de dos grupos. Para su cálculo se utiliza la expresión:

$$\Delta = \frac{M_2 - M_1}{\sigma_{ponderada}} \text{ donde } M_2 \text{ y } M_1 \text{ representan las medias de las muestras y } \sigma_{ponderada} \text{ es un va-}$$

lor estimado a partir de las desviaciones estándar de las muestras, según la siguiente expresión:

$$\sigma_{ponderada} = \sqrt{\frac{(N_2 - 1)\sigma_2^2 + (N_1 - 1)\sigma_1^2}{N_2 + N_1 - 2}} \text{ donde } N_2 \text{ y } N_1 \text{ son los tamaños de las muestras y } \sigma_2 \text{ y } \sigma_1$$

sus desviaciones estándar.

Suele considerarse (Black y Harrison, 2000; Cohen, 1988) que, cuando el tamaño del efecto es de 0,2, el tratamiento es poco eficaz, ya que el alumno medio experimental solo está por encima del 58% de los alumnos de control; cuando Δ es de 0,4 el tratamiento es eficaz, ya que el alumno medio experimental está por encima del 66% de los alumnos de control, y cuando Δ es de 0,8, muy eficaz, porque el alumno medio experimental está por encima del 79% de los alumnos de control. Estos porcentajes pueden consultarse en: <<http://www.cemcentre.org/evidence-based-education/effect-size-resources>>.

Tabla 5.
Tamaño del efecto del tratamiento experimental (Δ)
y % de alumnos de control por debajo del alumno *medio* del grupo experimental ($P\Delta$)

| | Δ | $P\Delta$ |
|--|----------|-----------|
| Comparación de los niveles medios de los alumnos de ESO tratados con los alumnos de ESO de control (después de la enseñanza) | 1,96 | 97% |
| Comparación de los niveles medios de los alumnos de ESO tratados con los alumnos de Física de 2.º de bachillerato de control (después de la enseñanza) | 0,74 | 77% |

De las tablas anteriores se deduce que el efecto del tratamiento experimental es muy considerable respecto a los alumnos de ESO que han recibido enseñanza habitual. ¡El 97% de los alumnos de control y el 77% de los de 2.º de bachillerato están por debajo del nivel del alumno medio del grupo experimental!

A estos comentarios cabe añadir que alcanzar los niveles funcionales (3 y 4) no es fácil. Los resultados experimentales son mucho mejores que los habituales, pero solo los alcanzan el 34% de los alumnos y los conservan un año después el 11%. No obstante, podría pensarse que al tratarse de un aprendizaje exigente puede generar actitudes negativas en los alumnos de 3.º de ESO, lo que podría traducirse en un rechazo a la asignatura. De ser así, nuestro objetivo principal de conseguir que los alumnos se interesen y aprendan Física se vería debilitado, precisamente, por nuestra intención de que aprendieran con profundidad el tema experimental. Por ello, merecen una atención especial los resultados sobre las actitudes de los alumnos que se presentan a continuación.

Resultados que muestran que los alumnos tratados obtienen mejores indicadores de apropiación y actitudes

De acuerdo con el diseño experimental, presentamos los resultados sobre la autopercepción de los alumnos experimentales y de control expresada mediante la valoración respecto a norma (de 0 a 10) de proposiciones relacionadas con indicadores de apropiación (Verdú et al., 2005). Dicha valoración se recogió de una manera anónima e individual al finalizar la enseñanza de la óptica.

Tabla 6.
Resultados que muestran la apropiación
y actitudes de los alumnos de ESO después de la enseñanza

| Valora de 0 a 10 tu grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones (0 = nada de acuerdo; 10 = totalmente de acuerdo) | Grupo experimental n = 127 | | Grupo de control n = 173 | | t | Δ |
|--|-------------------------------|-------|-----------------------------|-------|------|------|
| | M | (Sd) | M | (Sd) | | |
| a) El índice del tema y su desarrollo me han permitido sentirme orientado, es decir, saber lo que estaba haciendo en todo momento y para qué lo hacía. | 7,4 | (2,1) | 5,6 | (2,9) | 6,24 | 0,71 |
| b) A lo largo del tema he tenido oportunidades de expresar lo que pensaba sobre lo que estábamos tratando y resolver mis dudas. | 8,5 | (2,1) | 6,4 | (2,8) | 7,42 | 0,85 |
| c) Tengo la sensación de que iba haciendo actividades, una tras otra, sin saber muy bien por qué las hacía. | 2,4 | (2,9) | 4,7 | (3,5) | 6,21 | 0,72 |
| d) La organización del tema sobre luz y visión me ha permitido aprender “de verdad” y no simplemente repetir cosas de memoria. | 8,3 | (1,9) | 5,7 | (3,0) | 9,1 | 1,04 |
| e) La organización del tema me ha permitido darme cuenta de cómo trabajan los científicos y cómo avanzar en la elaboración de teorías. | 7,5 | (2,2) | 5,8 | (2,9) | 5,77 | 0,66 |
| f) Lo que hemos tratado es muy difícil, creo que no he entendido nada «de verdad». | 1,5 | (2,6) | 3,9 | (3,5) | 6,81 | 0,78 |
| g) Esta forma de organizar la enseñanza ha contribuido a que me guste menos la asignatura. | 1,5 | (2,6) | 3,5 | (3,4) | 5,20 | 0,59 |
| h) Si el curso próximo eligiera la asignatura de FQ, me gustaría que los temas se organizaran como este. | 8,0 | (2,6) | 5,3 | (3,4) | 7,79 | 0,86 |
| i) Lo que hemos tratado no es fácil, pero la forma de trabajar y evaluar me ha ayudado a comprender mejor los conceptos (sobre la luz y la visión). | 8,4 | (2,1) | 6,0 | (2,9) | 8,31 | 0,95 |
| j) Creo que lo aprendido en este tema ha hecho que cambie algunas de las ideas que tenía (sobre la luz y la visión). | 8,7 | (2,1) | 6,8 | (2,8) | 6,72 | 0,77 |

(*) En la tabla, *M* es el valor medio de la valoración, *t* el valor de la «*t* de Student» para la diferencia de las medias de ambos grupos y Δ el tamaño del efecto. Las diferencias son significativas a favor del grupo experimental con $\alpha < 0,001$ en todos los casos.

Los valores de la «*t* de Student» para la diferencia de las medias en grupos independientes y los tamaños del efecto (Δ) son muy favorables para el grupo experimental, por lo que podemos afirmar que las actitudes y la apropiación de los alumnos experimentales son mejores que las de los grupos de control. Las diferencias deben valorarse, además, teniendo en cuenta que los profesores de los grupos de control no generaban, ni mucho menos, rechazo, como se ve en el ítem *b*).

Ninguna de las formas de enseñar de los profesores genera rechazo de la asignatura, pero no ocurre lo mismo con el entusiasmo. Así, las diferencias son significativas en el ítem *h*) ($\alpha < 0,001$): al

alumno medio del grupo experimental le gustaría que, en el curso siguiente, la enseñanza de los temas fuera igual que la que ha recibido, en la misma medida que al 17% superior del grupo de control ($= 0,89$). Estas conclusiones se ven reforzadas con los resultados obtenidos en otras cuestiones abiertas que no presentamos aquí.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los resultados obtenidos durante los seis años que ha durado esta investigación nos permiten afirmar que:

1. Es posible planificar la enseñanza de la luz y la visión en la ESO con una estructura problematizada, lo que ha supuesto organizar la enseñanza en torno a los problemas de cómo vemos y cómo podemos ver mejor. Hay que lograr, como objetivo clave, que los alumnos se apropien de un modo funcional del modelo de visión de Kepler, que identifiquen las metas parciales que es necesario alcanzar para apropiarse de él y los obstáculos previsibles que hay que superar, así como que diseñen una estrategia para avanzar en el problema planteado, de forma que la secuencia de enseñanza se desarrolle con la lógica de un plan de investigación.
2. La puesta en práctica con alumnos de segundo y tercer curso de la ESO de esta secuencia de enseñanza produce mejoras sustanciales respecto a la enseñanza habitual. En concreto, hemos mostrado que esto sucede en la comprensión conceptual, lo que se manifiesta en una drástica reducción de los porcentajes de los alumnos que presentan obstáculos en cada uno de los indicadores de comprensión. Si tomamos como referencia lo que piensan los alumnos de ESO antes de la enseñanza de la óptica, vemos que la enseñanza habitual deja los obstáculos prácticamente inalterados. La situación mejora algo en los alumnos de 2.º curso de bachillerato solo en algunos indicadores de comprensión. La eficacia del tratamiento experimental también se manifiesta al comparar los niveles de comprensión global. No obstante, solo la tercera parte de los alumnos tratados alcanzan un nivel de comprensión funcional y, de ellos, solo un tercio lo conservan al año siguiente, lo que evidencia que los obstáculos para la comprensión del modelo de Kepler están fuertemente arraigados en el pensamiento de los estudiantes y la óptica geométrica se revela difícil de comprender en este nivel educativo.
3. A pesar de esas dificultades, los alumnos que han sido instruidos en dicha secuencia muestran expectativas muy positivas hacia la enseñanza de los temas científicos, lo que es un aspecto crucial en estos niveles básicos de la educación secundaria. En general, los alumnos tratados se sienten más orientados, tienen sensación de avance, de haber aprendido «de verdad», expresan que les gustaría que se enseñara así el curso próximo, etc.

Las perspectivas abiertas por este proyecto se centran en su extensión a los alumnos de Física de 2.º curso de bachillerato, donde cabe esperar, lógicamente, que los logros sean incluso mayores. Por otro lado, los resultados obtenidos con profesores que siguen cursos de formación en esta secuencia de enseñanza muestran una acogida muy favorable, pero ¿la ponen en práctica con sus alumnos? El seguimiento de estos profesores es otra vía por explorar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSSON, B. y KARRQUIST, C. (1983). How Swedish aged 12-15 years, understand light and its properties. *European Journal Science Education* 5 (4), pp. 387-402.
- ANDERSSON, B. y BACH, F. (2004). On Designing and Evaluating Teaching Sequences Taking Geometrical Optics as an Example. *Science Education*. Disponible en línea: <www.interscience.wiley.com>.
- BECERRA, C. (2004). *La enseñanza de la mecánica newtoniana con una estructura problematizada en el primer curso universitario*. Tesis doctoral, Universidad de Alicante.
- BECERRA, C.; GRAS, A.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2011*). Effects of a problem-based structure of Physics contents on conceptual learning and the ability to solve problems. *International Journal of Science Education*. (*Aceptado para su publicación).
- BLACK, P. y HARRISON, C. (2000). Formative Assessment. En M. Monk y J. Osborne. *Good Practice in Science Teaching. What research has to say*. Buckingham: Open University Press, pp. 25-40.
- BRANSFORD, J.; BROUWN, A. y COCKING, R. (eds.) (2000). *How People Learn: Brain, Experience and School*. Washington: National Academy Press. Disponible en línea: <www.nap.edu>.
- CASADO, A.; PRIETO, L. y ALONSO, J. (1999). El tamaño del efecto de la diferencia entre dos medias: ¿estadísticamente significativo o clínicamente relevante? *Medicina Clínica (Barcelona)*, 112, pp. 584-588.
- COE, R. (2002). *It's the Effect Size, Stupid. What effect size is and why it is important*. Paper presented at the British Educational Research Association annual conference, Exeter, 1214. Disponible en línea: <www.cemcentre.org/attachments/ebe/ESguide.pdf>.
- COHEN, J. (1988). *Statistical power analysis for behavioural sciences*. Nueva York: Academic Press.
- DEDES, C. (2005). The Mechanism of Vision: Conceptual Similarities between Historical Models and Children's Representations. *Science Education*, 14, pp. 699-712.
- DOMENECH, J. L. (2000). *L'ensenyament De L'energia En L'educació Secundària. Anàlisi De Les Dificultats i una proposta de millora*, tesis doctoral, Universitat de València.
- DUIT, R.; GROPPENGIEBER, H. y HATTMANN, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. *Developing Standards in Research on Science Education-Ficher (ed.)*. Leiden: Taylor & Francis, pp. 1-9.
- FERRAZ, A. (1974). *Teorías sobre la naturaleza de la luz. De Pitágoras a Newton*. Madrid: Dossat.
- FURIÓ, C.; AZCONA, R. y GUIASOLA, J. (2006). Enseñanza de los conceptos de «cantidad de sustancia» y de mol basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las ciencias*, 24(1), pp. 43-58.
- GALILI, I. y HAZAN, A. (2000a). Learners' knowledge in optics: interpretation structure and analysis. *International Journal of Science Education* 22(1), pp. 57-88.
- GALILI, I. y HAZAN, A. (2000b). The influence of historically oriented course on students' content knowledge in optics evaluated by means of facets-schemes analysis. *Physics Education Research (a supplement to the American Journal of Physics)*, suplemento 1, 68(7), pp. 3-15.
- GIL, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias* 11(2), pp. 197-212.
- GOLDBERG, F. y MCDERMOTT, L. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal Physics* 55(2), pp. 108-119.
- GUESNE, E. (1989). La luz. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien. *Ideas científicas en la infancia y adolescencia (cap. 2)*, Madrid: Morata.
- GUIASOLA, J.; ALMUDÍ, J. M. y ZUBIMENDI J. L. (2004). Difficulties in learning the introductory magnetic field theory in the first years of university. *Science Education* 88(3), pp. 443-464.

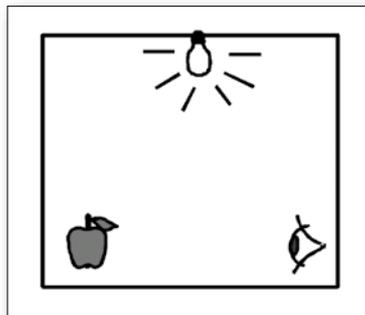
- GUISASOLA, J.; FURIÓ, C. y CEBERIO, M. (2008). Science Education base for developing guided research. En V. Thomse (ed.). *Science Education in Focus* 6, Nueva York: Novapublisher Inc.
- GUISASOLA, J.; ALMUDÍ, J. M.; CEBERIO, M. y ZUBIMENDI, J. L. (2009). Designing and evaluating research-based instructional sequences for introducing magnetic fields. *International Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 7, pp. 699-722.
- HIRN, C. y VIENNOT, L. (2000). Transformation of didactic intentions by teachers: the case of geometrical optics in grade 8 in France. *International Journal of Science Education*, 22(4), pp. 357-384.
- HOGAN, K. y MAGLIENTI, M. (2001). Comparing the Epistemological Underpinnings of Students' and Scientists' Reasoning about Conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), pp. 663-687.
- KEPLER, J. (1604). *Les fondaments de l'optique moderne. Paralipomènes a Vitellion*, 1980, París: Vrin.
- LA ROSA, C.; MAYER, M.; PATRIZI, P. y VICENTINI-MISSONI, M. (1984). Commonsense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal Science Education*, 6(4), pp. 387-397.
- LEMKE, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós ed.
- LÓPEZ-GAY, R. (2002). *La introducción y utilización del concepto de diferencial en la enseñanza de la Física: análisis de la situación actual y propuesta para su mejora*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y VERDÚ, R. (1993). ¿Cómo organizar la enseñanza para un mejor aprendizaje? La estructura de los temas y los cursos en la enseñanza por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 97-98.
- MARTÍNEZ SEBASTIÁN, B. (2002). *La enseñanza/aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Análisis de la situación actual y propuesta de mejora para los futuros profesores de primaria*. Tesis doctoral, Universitat de València.
- MARTON, F. y BOOTH, S. (1997). *Learning and awareness*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- MEHEUT, M. y PSILLOS, D. (2004). Teaching – learning sequences. Aims and tools for science education. *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 515-535.
- NOVAK, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 213-223.
- OSBORNE, J. F.; ERDURAN, S. y SIMON, S. (2004). Enhancing of Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), pp. 994-1020.
- OSBORNE, J. F.; BLACK, P.; MEADOWS, J. y SMITH, M. (1993). Young children's (7-11) ideas about light and their development. *International Journal of Science Education*, 15(1), pp. 83-93.
- OSUNA, L.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; CARRASCOSA, J. y VERDÚ, R. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 25(2), pp. 277-290.
- RONCHI, V. (1957). *Optics. The Science of Vision*. Reedición de 1991. Nueva York: Dover.
- VERDÚ, R.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. y OSUNA, L. (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada. *Alambique*, 34, pp. 47-55.
- VERDÚ, R. , MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2005). *La estructura problematizada de temas y cursos de Física y Química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje*. Tesis Doctoral editada por la autora. En <http://hdl.handle.net/10045/2782>
- WHITE, T. R. y GUNSTONE, F. R. (1989). Meta-learning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 577-586.

ANEXO 1.

Cuestionario para contrastar la mejora en los indicadores de comprensión

C.1) En una habitación iluminada una persona ve una manzana.

- a) Después de leer con atención las siguientes frases, señala con una **X** cuál es para ti la mejor explicación sobre cómo vemos la manzana:
- Vemos porque la miramos.
 - Vemos porque el ojo envía «la mirada» hacia la manzana.
 - Vemos porque de ella sale una imagen (o una especie de reflejo) que llega hasta el ojo.
 - Vemos porque de ella sale una imagen y el ojo envía «la mirada».
 - Vemos porque la luz que sale de ella llega hasta el ojo.
 - Si no estás de acuerdo con ninguna de las anteriores, completa la frase: «Vemos porque...».

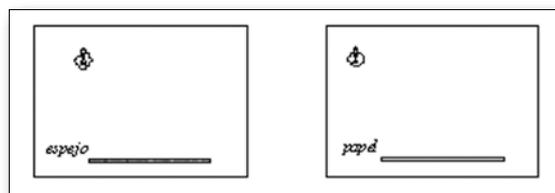


Dibuja en el esquema anterior las líneas y rayos de luz que consideres necesarios para aclarar tus ideas.

C.1.1)

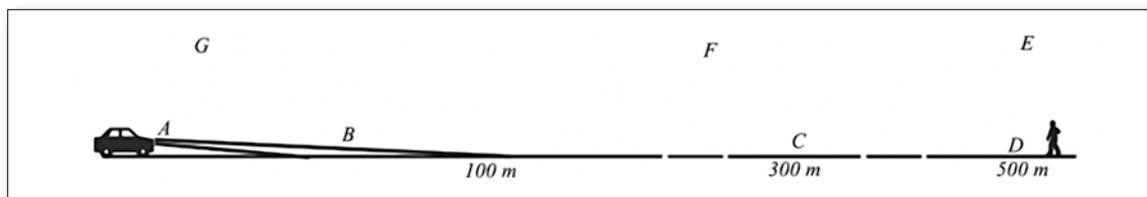
- a) Explica cómo podemos ver un objeto.
b) Explica también por qué al ver un objeto reconocemos si es de mayor o menor tamaño o si es de una forma u otra. Dibuja esquemas que ayuden a comprender tus razonamientos.

C.2) Explica qué le ocurre a la luz de una bombilla cuando llega a un espejo y cuando llega a un papel. Dibuja en los esquemas siguientes los rayos de luz que consideres para aclarar tus ideas.



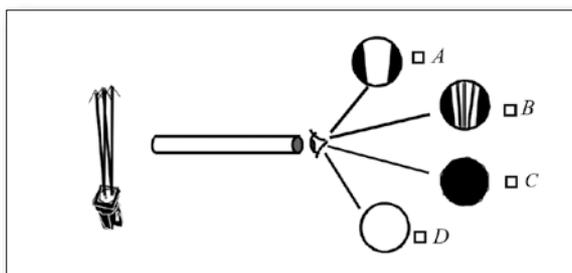
C.2.1) Cita objetos de la clase de donde creas que sale luz.

C.3) El dibujo representa a una persona que en una noche oscura ve, a lo lejos, un coche con los faros encendidos (en el dibujo se representa la luz de forma convencional, no científica).

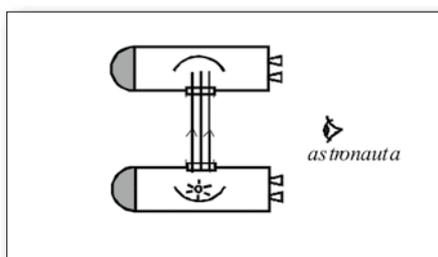


- a) Indica las zonas donde crees que hay luz:
- b) Cuando se apagan los faros del coche, ¿dónde crees que está la luz que había en esas zonas?

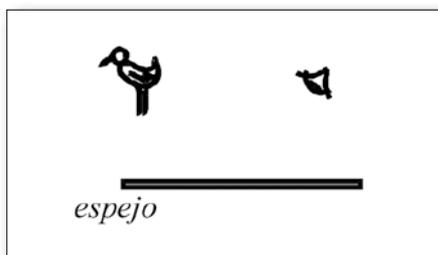
C.4) En una habitación de paredes negras cuya única fuente de iluminación es una linterna, una persona mira a través de un tubo hacia el haz de luz de la linterna. ¿Qué verá en esta situación? Señala con una **X** la opción que creas correcta.



C.4.1) ¿Qué verá el astronauta de la figura (representado con un ojo) cuando mira hacia el haz de luz que se emite por una de las naves y se refleja en la otra?

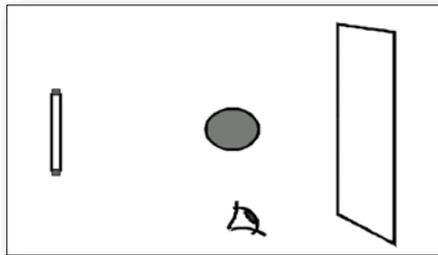


C.5) El dibujo representa a una persona que ve la imagen de un pájaro al mirar a un espejo.

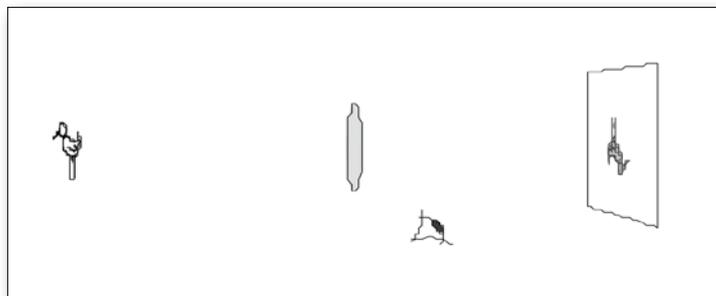


- a) Después de leer con atención las siguientes frases, señala con una X cuál es para ti la mejor explicación sobre cómo vemos su imagen al mirar al espejo.
- El ojo envía «la mirada», que rebota en el espejo y llega al pájaro.
 - Una imagen del pájaro llega al espejo, rebota y llega hasta el ojo.
 - Una imagen del pájaro llega hasta el espejo y se queda en él. El ojo envía «la mirada» a esa imagen en el espejo.
 - Una parte de la luz que sale de cada punto del pájaro rebota en el espejo y llega hasta el ojo.
 - Si no estás de acuerdo con ninguna de las anteriores, completa la frase: «Vemos la imagen del pájaro porque...».
- b) Dibuja en el esquema anterior las líneas o los rayos de luz que consideres para aclarar tus ideas.

C.6) Un tubo fluorescente está encendido y es la única fuente de iluminación de la habitación. Sitúamos delante de él una pelota, ¿cómo será (en tamaño, forma, color, etc.) la sombra que se ve en la pared? Dibújala y acompaña este esquema de los rayos que consideres para justificar tu respuesta.



C.7) Con una lente como la de una lupa podemos ver la imagen de un objeto iluminado sobre una pantalla (en el esquema se representa este fenómeno, que es similar al que ocurre cuando usamos un proyector y podemos ver la imagen de una diapositiva en una pantalla).



- a) Explica cómo crees que se forma la imagen que vemos en la pantalla. Dibuja en este esquema los rayos que creas necesarios.
- b) Si alejamos la pantalla de esa posición, ¿qué cambios crees que se producirán en la imagen? Señala con una X la respuesta que creas correcta:
- Se verá de mayor tamaño.
 - Se verá de menor tamaño.
 - No se verá.

- Se verá de igual tamaño.
- Otra respuesta:

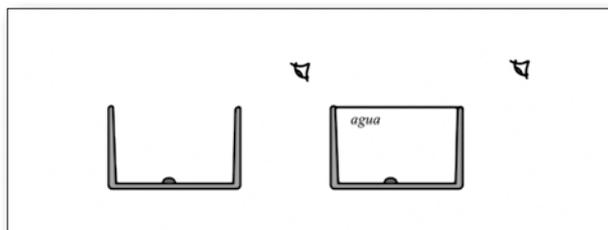
c) Si quitamos la lente, ¿qué cambios crees que se producirán en la imagen? Señala con una *X* la respuesta que creas correcta:

- La imagen seguirá existiendo pero no se verá.
- La imagen seguirá existiendo y se verá.
- No existirá la imagen.
- Otra respuesta:

d) Si tapamos la mitad superior de la lente con un cuerpo opaco, ¿qué cambios crees que se producirán en la imagen? Señala con una *X* la respuesta que creas correcta:

- Solo se formará la mitad superior de la imagen.
- Solo se formará la mitad inferior de la imagen.
- Se formará la imagen entera pero menos luminosa.
- Otra respuesta:

C.8) Desde la posición donde se encuentra el «ojo» no se puede ver el objeto del fondo del recipiente, pero si se llena con agua sí se puede ver. Explica este fenómeno y dibuja un diagrama que lo explique.



ANEXO 2.

Cuestionario para contrastar la mejora en los indicadores de apropiación y actitudes

Como sabes, una misma asignatura puede resultar atractiva o interesante para unos estudiantes y para otros no. Estamos interesados en conocer el efecto que ha tenido en tus actitudes el modo en el que se ha desarrollado el tema de óptica (luz y visión), con el objetivo de poder mejorar su enseñanza.

Para ello, te pedimos que leas con cuidado cada pregunta antes de contestar, y que las contestes con la mayor sinceridad. Valora de 0 a 10 tu grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones (0 = nada de acuerdo; 10= totalmente de acuerdo). El cuestionario es individual y anónimo.

Cuestiones

Con relación al modo en que se ha desarrollado el tema...

- a) El índice del tema y su desarrollo me han permitido sentirme orientado, es decir, saber lo que estaba haciendo en todo momento y para qué lo hacía (O).

- b)* A lo largo del tema he tenido oportunidades de expresar lo que pensaba sobre lo que estábamos tratando y resolver mis dudas (A).
- c)* Tengo la sensación de que iba haciendo actividades, una tras otra, sin saber muy bien por qué las hacía (O; I/M, en negativo).
- d)* La organización del tema sobre luz y visión me ha permitido aprender «de verdad» y no a repetir cosas de memoria (I/M).
- e)* La organización del tema sobre luz y visión me ha permitido darme cuenta sobre cómo trabajan los científicos y cómo avanzan en la elaboración de teorías (I/M; A).
- f)* Lo que hemos tratado es muy difícil, creo que no he entendido nada «de verdad» (O; I/M; A, en negativo).
- g)* Esta forma de organizar la enseñanza ha contribuido a que me guste menos la asignatura. (A en negativo).
- h)* Si el curso próximo eligiera la asignatura de Física y Química, me gustaría que los temas se organizaran como este (A).
- i)* Lo que hemos tratado no es fácil, pero la forma de trabajar y evaluar me ha ayudado a comprender mejor los conceptos sobre la luz y la visión (I/M, A).
- j)* Creo que lo aprendido en este tema ha hecho que cambie algunas de las ideas que tenía sobre la luz y la visión (I/M).

EVALUATION OF PROBLEM-BASED TEACHING ABOUT LIGHT AND VISION IN COMPULSORY SECONDARY EDUCATION

Osuna García, Luis*; Martínez Torregrosa, Joaquín*; Menargues Marcilla, Asunción*

*University of Alicante

After a historical review of the scientific ideas on the field of optics and science education research, we have taken some decisions to organize the problem-based teaching on these topics:

- The key goal to achieve is the understanding and functional use of Kepler's vision model. This is a simple model with enough explanatory and predictive capability and thus, it is worth to be taught to everyone.
- The problem that historically oriented the steps in this field was to explain how we see and how we can improve vision (instead of studying light properties) and we consider this suitable to be the structuring teaching problem.

From the historical analysis that led to Kepler's model, we can suggest the partial goals or necessary steps that we must consider for its understanding as well as the expected obstacles that students will probably have, as it is shown below:

a) To have a vision's model that relates light, object and observer eye. This implies to overcome the following obstacles:

- Interpreting vision as a process in which "something" is emitted from the eye or an image of any object arrives to it.
- Believing that the objects we see are not sources of light (it is generally thought that "light exists and it is necessary for us in order to see objects, which do not emit light").
- Considering that there is light only when light sources or illuminated objects exist, that is to say, light is not considered as a physical entity that is independent in space (it is believed that "light is in bright objects or lighted areas").

b) To have an idealized and potentially explanatory scheme of geometric representation of light propagation. This implies:

- Overcoming the general belief that light or light rays can be seen.
- Modelling the large light sources as sets of points of sources that emit light in every direction.
- Performing paths of divergent light beams from each point of the light source.
- c) To conceive the optical image design according to Kepler's vision model, which means to overcome:
 - Believing that images are transferred already "made" from the object (similar to ancient Greek ideas) or that light beams are carriers of every image point (like Alhazen's idea).
 - Not considering that the eye is an optical instrument that forms images, and thus it is generally believed that image has an independent existence from the eye.

Obstacles that we have derived from this analysis are consistent with conclusions of several studies on spontaneous ideas carried out on the field of optics.

On the other hand, as a consequence of this study we have made a teaching sequence with a problem-based structure that contains the main conclusions. This sequence is available at <<http://hdl.handle.net/10045/4625>>, where recommendations and comments for teachers who wish to apply it in their classes are also included.

From our research point of view, the partial goals outlined above can be considered as understanding indicators of Kepler's vision model. But given that students have ideas and reasoning, which are regarded as obstacles, and that should be considered if we wish that students take ownership of the model, we can use these obstacles to evaluate our teaching sequence. We have developed several instruments to compare the conceptual understanding acquired by treated students with that of untreated students of the same or upper levels. We also have designed instruments to determine the degree of ownership that trained students have after the teaching sequence.

- The analysis of these results allow us to conclude that:
 - Teaching must take into account the partial goals and the associated obstacles that we have identified.
 - These identified obstacles are present in students before teaching, and traditional teaching does not allow overcoming them.
 - The practice of the suggested teaching sequence with a problem-based structure has led to greatly reduce these barriers and to reach a high global understanding of the model, as well as it creates opportunities for students to improve their attitude and to take ownership of what is being discussed.

.....

tesis
didácticas

.....

