

PLANIFICANDO LA ENSEÑANZA PROBLEMATIZADA: EL EJEMPLO DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

OSUNA GARCÍA, LUÍS; MARTÍNEZ TORREGROSA, JOAQUÍN; CARRASCOSA ALÍS, JAIME
y VERDÚ CARBONELL, RAFAELA

Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Alicante
joaquin.martinez@ua.es

Resumen. La planificación de la enseñanza problematizada de los temas requiere seleccionar una meta orientadora (qué nos gustaría conseguir con nuestros alumnos en el tema a tratar), un problema estructurante e identificar grandes pasos que permiten avanzar en su solución y posibles obstáculos asociados. Estas decisiones se basan en un estudio histórico, epistemológico y de la investigación didáctica ya realizada en el campo (Duit et al., 2005; Furió et al., 2006; Verdú et al., 2002). Antes de la concreción de esta planificación en una secuencia de actividades para el aula (programa-guía), su relevancia potencial para la mejora de la enseñanza es sometida a pruebas mediante un estudio empírico. En este artículo presentamos los resultados de este proceso para la enseñanza del modelo de visión de Kepler en la etapa secundaria, cuya apropiación hemos considerado la meta orientadora de la enseñanza de la óptica geométrica en este nivel educativo.

Palabras clave. Enseñanza problematizada, modelo de visión, obstáculo conceptual, óptica.

Planning problem-based teaching and learning; an example of geometric optics in secondary education

Summary. Planning problem-based teaching and learning topics requires to choose a guiding aim (what we would like to achieve for our students with the topic to deal with), a structural problem, and also to identify the big steps to reach its solution together with the possible associated obstacles. These decisions are based on a historical and epistemological study and on the previous educational research in the field (Duit et al., 2005; Furió et al., 2006; Verdú et al., 2002). The potential importance of these decisions to improve teaching and learning is tested by means of an empirical study. The data gained in this empirical study are then used to make a sequence of activities for the classroom into the *problematized* framework initially selected. In this paper we show the results of such a process in planning problem-based light and vision's teaching in Secondary Education (14-16 years old students).

Keywords. Problem-based teaching & learning, vision model, conceptual obstacle, optics.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los currículos de enseñanza secundaria de los países de nuestro entorno contienen temas de óptica y uno de los objetivos básicos y compartidos es comprender la visión humana de los objetos al mirarlos directa o indirectamente (por reflexión o refracción).

Conseguir este objetivo supone apropiarse funcionalmente de un modelo de cómo se forman las imágenes, lo que requiere el desarrollo de una teoría geométrica de la luz y de la visión que se ha denominado óptica geométrica.

Por nuestra parte, hemos abordado la enseñanza de este tema desde el modelo de enseñanza problematizada o por investigación orientada (Gil, 1993). En este modelo, las secuencias de actividades de enseñanza y aprendizaje se desarrollan dentro de una estructura problematizada (Gil, 1986; Martínez-Torregrosa et al., 1993), caracterizada por:

– En el inicio del tema se debe plantear un problema (o problemas) de interés con suficiente capacidad estructurante para organizar la enseñanza a partir de él.

– La secuencia de apartados o índice debe ser una posible estrategia lógica para tratar de solucionar dicho problema.

– Los conceptos y modelos deben introducirse tentativamente, como hipótesis fundadas que han de ser sometidas a prueba.

– La evaluación debe ser entendida como un instrumento de recapitulación, impulso y afianzamiento de los avances producidos en la resolución del problema inicial.

Para planificar la enseñanza de un tema con estructura problematizada, el equipo de profesores/investigadores necesita disponer de un conocimiento en profundidad de la materia a tratar, entendiendo por ello un conocimiento problematizado, consciente de cuáles fueron los problemas que están en el origen de los conocimientos en un campo determinado, cómo se ha llegado hasta ahí, cuáles fueron las dificultades que hubo que superar y las ideas que permitieron avanzar, el contexto social y las repercusiones tecnológicas que tuvieron y tienen los estudios en dicho campo, etc.

Adquirir dicha formación requiere un estudio histórico y epistemológico del campo a tratar, pero –algo fundamental– realizado con «*intencionalidad didáctica*», y con conocimiento práctico sobre los alumnos y el aula, con el fin de que sea útil y factible para enseñar y aprender (Duit et al., 2005; Furió et al., 2006; Verdú et al., 2002). Por ello, hemos encontrado útil establecer una serie de preguntas que guían desde el primer momento este estudio histórico-epistemológico a fin de tomar decisiones para concretar la estructura problematizada:

1. ¿Qué conocimientos nos gustaría que aprendieran nuestros alumnos sobre el tema, que tengan la capacidad explicativa y predictiva como para ser útiles y con suficiente entidad para ser objetivo de la enseñanza? ¿Qué problema o problemas podrían ser adecuados para organizar la enseñanza? Esto nos permitirá identificar la **meta orientadora** u objetivos claves y el **problema estructurante**.

2. ¿Cuáles son/fueron las ideas que contribuyen/contribuyeron a solucionar el problema y cuáles los obstáculos que hay/hubo que superar? Esto permitirá identificar las **metas parciales** y prever dificultades u obstáculos que pueden tener nuestros alumnos para apropiarse de las ideas necesarias con el fin de avanzar en el problema.

3. ¿Qué estrategia seguir para avanzar en la solución del problema planteado? Esto permitirá proponer un posible **índice** que responda a una lógica de investigación, un itinerario de enseñanza y otro de momentos de **recapitulación** para evaluar el avance logrado en el aprendizaje.

En último término, este estudio se ha de concretar en una secuencia de actividades para desarrollar en el aula, cuya validez debe ser puesta a prueba mediante contrastación empírica de las oportunidades que genera para aprender, las actitudes que promueve y los conocimientos adquiridos por los estudiantes. No obstante, dicha secuencia se insertará en una determinada estructura problematizada sobre la que se habrán tomado decisiones al responder a las preguntas anteriores. Dicho de otro modo, la secuencia concreta de actividades para el aula se ajustará a una planificación previa en la que se ha decidido qué se pretende conseguir, los grandes pasos a dar y las ideas y obstáculos en juego. Parece conveniente, pues, someter a pruebas empíricas esta planificación de la enseñanza con los siguientes objetivos:

a) Ver en qué medida las ideas a conseguir son adquiridas por los alumnos tras la enseñanza habitual del tema, y si los obstáculos previstos están presentes en ellos antes y después de la enseñanza. Si las ideas en las que se va a hacer énfasis y los obstáculos previstos fueran adquiridas y superados, respectivamente, tras la enseñanza habitual, tendría poca relevancia didáctica investigar propuestas alternativas.

b) Identificar las ideas y razonamientos espontáneos que pueden dificultar el itinerario de avance previsto y que deben, por tanto, ser tenidos en cuenta en la enseñanza (será una información muy útil para concretar la secuencia de actividades en el aula).

c) Servir de referencia para comparar los logros producidos mediante la enseñanza problematizada (cuando se ponga en práctica la secuencia de actividades en el aula) respecto a los de la enseñanza habitual.

En este trabajo presentamos nuestras respuestas a las preguntas planteadas para el tema de óptica geométrica en la ESO, acompañadas del estudio empírico con los objetivos que acabamos de citar.

ANÁLISIS HISTÓRICO Y EPISTEMOLÓGICO DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA

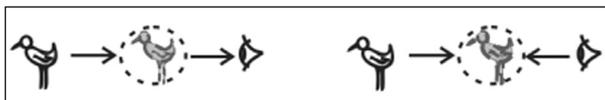
La óptica geométrica se originó y desarrolló en un intento de comprender la visión humana. Las ideas sobre cómo se produce la visión humana han sido objeto de controversia y de cambios drásticos a lo largo de la historia (Ferraz, 1974). El modelo histórico más sencillo que tiene suficiente coherencia y poder explicativo como para ser objeto de enseñanza es el modelo de visión de Kepler (que caracterizaremos posteriormente), que es el que, típicamente, se trata de enseñar en la educación secundaria (tanto en la etapa obligatoria como

en bachillerato, con diferencias más cuantitativas que cualitativas), aunque se suele omitir, incluso, el nombre de dicho modelo. Kepler –sin abordar la percepción del color ni la fisiología del ojo– introdujo un concepto de *imagen óptica* y un proceso para su formación que superó las incoherencias de las ideas anteriores y que, aún hoy día, es funcional, es decir, puede utilizarse para explicar y realizar predicciones sobre la visión directa e indirecta de los objetos. Sin embargo, la evolución histórica de las ideas que culminaron en el modelo de Kepler es de interés para tratar de dar respuesta a las preguntas anteriores. En el análisis histórico de las ideas sobre la visión humana distinguimos, básicamente, tres etapas que merecen ser estudiadas: la visión según los filósofos griegos, la visión según Alhazen y la visión según Kepler.

La visión según los filósofos griegos

Demócrito y los filósofos atomistas, dentro de un marco de pensamiento en el que la percepción sensorial requiere contacto físico, pensaban que de los objetos emana una sutil capa de átomos que forman un simulacro del objeto, la *eidola* o imagen del mismo que «vuela» hasta los órganos de la vista para provocar la visión. Otros, como Platón, pensaban que, además del desprendimiento de imágenes, el ojo debía emitir un fuego visual de forma que el contacto entre estas dos entidades produjera la sensación de la visión (Ferraz, 1974). En estas concepciones, para producir la visión, la luz no era el intermediario entre el objeto y el ojo.

Figura 1
Modelos de visión de Demócrito y de Platón.

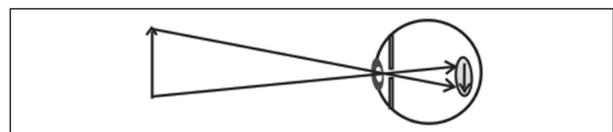


Algunas de las incongruencias de estas primeras concepciones de la imagen óptica (Fig. 1) ya fueron expresadas en esa época por Aristóteles en *Parva Naturalia* (1993) y por otros filósofos griegos. Así, por ejemplo, se plantearon cuestiones del tipo: si los objetos emiten imágenes, ¿qué ocurre cuando se cruzan éstas en el aire?, ¿cómo puede haber la imagen de un gran objeto en la pupila del ojo? Si la imagen desprendida es la causa de la visión, ¿por qué sólo ve el ojo y no las otras partes del cuerpo a donde llega? Para Aristóteles, la luz es una cualidad que hace posible la visión y no una emanación de ningún cuerpo, y sus explicaciones imprecisas y oscuras no permiten superar las carencias de las ideas precedentes. La filosofía griega produjo pocos avances, ya que incluso Euclides escribió tratados específicos de óptica en los que explicaba los fenómenos de la visión mediante trazados de rayos, que representan una especie de luz, emitidos por el ojo (Solís y Sellés, 2005; Dedes, 2005).

La visión según Alhazen

Ante tal cúmulo de dificultades, Alhazen en el siglo XI, basándose en que el color con que se ven los objetos está en consonancia con la luz que los ilumina, pensó que la luz debería intervenir en la visión. Para este científico, la luz es considerada una entidad independiente del objeto y del ojo que hace de intermediario en la visión. Según Alhazen, la visión consistía en la formación de una imagen óptica en el interior del ojo que funcionaba como una cámara oscura, de tal forma que uno de los rayos de luz emitidos por cada punto del objeto iluminado atravesaba el pequeño agujero de la cámara oscura (la pupila) y formaba el punto correspondiente de la imagen en la pantalla de esa cámara (Gil del Río, 1984). De esta concepción se deduce, pues, que el rayo de luz, en su propagación, debe ser una especie de portador de pequeños trozos de la imagen que deposita en la pantalla donde incide (Fig. 2).

Figura 2
Modelo de visión de Alhazen.

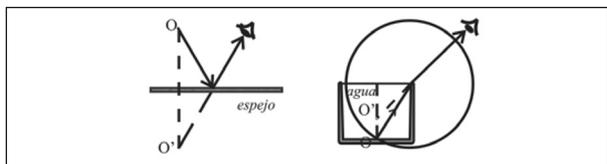


Esta concepción de la visión y de la imagen óptica, con avances evidentes sobre las teorías de los antiguos filósofos griegos, está fundamentada en la introducción de un conjunto de ideas novedosas respecto de las anteriores teorías, entre las que podemos mencionar:

- Los objetos que vemos pasaron a ser considerados fuentes secundarias de luz.
- Las fuentes luminosas extensas fueron idealizadas como conjuntos de fuentes luminosas puntuales que emiten rayos en todas las direcciones. Estos rayos son trazos rectos de cuyo comportamiento geométrico se pueden derivar consecuencias ópticas.
- El ojo humano fue modelizado como un instrumento óptico, con lo que la ciencia de la visión empezó a ser una ciencia de la luz (Tarasov y Tarasova, 1985).
- La luz pasó a ser considerada como una entidad física en el espacio, independiente del ojo del observador y de la fuente luminosa y, por tanto, podía ser objeto de estudio en sí misma independientemente de la visión.

A partir de estas ideas Alhazen pudo explicar, utilizando un lenguaje geométrico, fenómenos de visión indirecta, como cuando vemos un objeto al mirar a un espejo plano o cuando se encuentra sumergido en el agua (Fig. 3).

Figura 3
Esquemas de visión indirecta de Alhazen.



A pesar de los avances que se manifiestan en estos diagramas, para localizar la posición donde se ve el objeto al mirarlo indirectamente, Alhazen trazaba la línea OO', línea que une el punto objeto con el punto imagen observado y que no puede ser deducida de los principios de su teoría. A partir de esa línea OO', con un único rayo que entre en el ojo es posible localizar la posición donde parece encontrarse el objeto visto indirectamente.

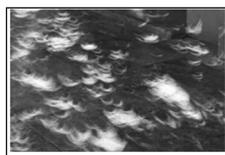
La visión según Kepler

Pese a su éxito inicial, la teoría de Alhazen no pudo explicar algunas observaciones con la cámara oscura, cada vez más utilizada en la Edad Media (Crombie, 1987). Kepler, con motivo de un eclipse de Sol que tuvo oportunidad de ver en el año 1600, se enfrentó con la observación de que el diámetro del disco lunar medido en una cámara oscura aprovechando un eclipse de Sol era menor que cuando se medía en fase de Luna llena! El astrónomo Tycho Brahe, que se había apercibido del problema, ante las dificultades de encontrar una explicación óptica, llegó a formular una hipótesis de dilatación periódica de la Luna (Chevallier, 1980), sin cuestionar la teoría de Alhazen.

No se trataba sólo de nuevas observaciones; Kepler conocía el antiguo problema planteado por Aristóteles al que, hasta entonces, no se había dado solución satisfactoria: «¿por qué los rayos de Sol percibidos durante un eclipse, a través de los dedos entrecruzados o entre las hojas de los árboles dibujan lúnulas sobre el suelo?» (Kepler, 1604, Cap. II) (Fig. 4), es decir, ¿por qué la forma del agujero de la cámara oscura no influye en la forma de la imagen del objeto que se ve en la pantalla?

Figura 4

Fotografía de las lúnulas observadas en la sombra de un árbol durante el eclipse de Sol del día 3 de octubre de 2005 en Valencia.

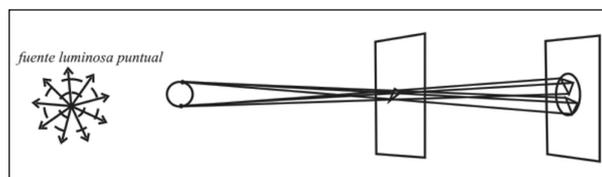


Y razonaba: si una «imagen» desprendida del Sol llegara a la hendidura de una cámara oscura, por ejemplo de forma triangular, se podría observar en su pantalla

una mancha luminosa con forma triangular. Y si, tal como proponía Alhazen, un único rayo procedente desde cada punto del disco solar o del disco lunar entrara en la cámara oscura para formar la imagen, no se podría justificar la variación del diámetro lunar que se observa en la pantalla de este dispositivo (siempre que la suposición de Brahe de dilatación real de la Luna fuera falsa).

Para atacar ambos problemas, Kepler propuso un nuevo modelo de formación de imágenes. El primer aspecto esencial de su propuesta es que la luz emitida por cada punto del objeto es una esfera en expansión, de tal forma que los rayos son solamente elementos direccionales ideales, sin entidad real. En la proposición VII de su obra *Ad Vitellionem Paralipomena*, Kepler (1604) afirma expresamente: «El rayo de luz no es nada de la misma luz que marcha». Si parte de ese haz esférico emitido por la fuente puntual entra en el orificio de la cámara oscura, se selecciona un haz divergente de luz y se obtendrá en la pantalla una mancha luminosa con la misma forma de la hendidura. Pero, para una fuente luminosa extensa y lejana de la que se trazan multitud de haces divergentes desde cada uno de sus puntos, la superposición de las pequeñas manchas triangulares compondrá una figura de la misma forma que la fuente luminosa (Fig. 5).

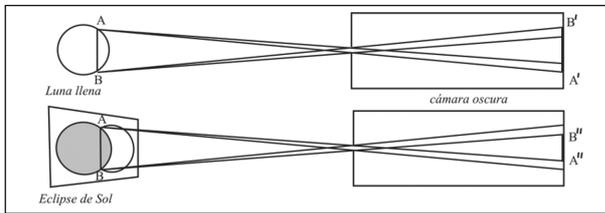
Figura 5
Funcionamiento de la cámara oscura.



Como se puede comprender, con esta representación de la luz no es necesario recurrir a la emanación de «imágenes» desde las fuentes luminosas, ni al rayo transportador de parte de la imagen.

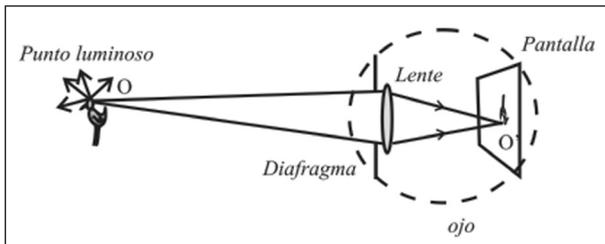
El problema de la dilatación periódica del disco lunar observada en la cámara oscura pudo ser resuelto, también, a partir de esta hipótesis geométrica sobre la propagación de la luz (Fig. 6). Señalando una cuerda, AB, sobre el disco lunar en fase de Luna llena y trazando haces de luz desde sus extremos, obtendremos en la pantalla de la cámara oscura una cuerda de tamaño A'B' en el círculo luminoso. Si ahora trazamos el esquema durante un eclipse de Sol, la cuerda lunar AB no es, en este caso, una fuente luminosa, y los puntos A y B son fuentes puntuales del Sol que limitan con esa cuerda lunar. Las manchas luminosas obtenidas sobre la pantalla de la cámara oscura tienen cierto tamaño y, por tanto, la medida de la cuerda del círculo negro, A'B'', corresponderá a la secante lunar AB que, como se observa en este caso, aparece más pequeña que en el caso de Luna llena.

Figura 6
Tamaño de la Luna medido en una cámara oscura.



El segundo aspecto esencial de su teoría se refiere a la formación de imágenes. El conocimiento que se tenía en la época de Kepler de la fisiología del ojo y de las lentes le permitió proponer un modelo de ojo humano consistente en una cámara oscura esférica y acuosa con una lente de convergencia variable (el cristalino) en su interior. La visión se produciría por la formación de una imagen en una pantalla del interior (la retina), lo que ocurriría suponiendo que cada haz de luz cónico y divergente que entre en la pupila converge en un punto de la retina (Fig. 7). La imagen extensa de un objeto se formaría a partir de la colección de los puntos imagen.

Figura 7
Modelo de visión de Kepler.



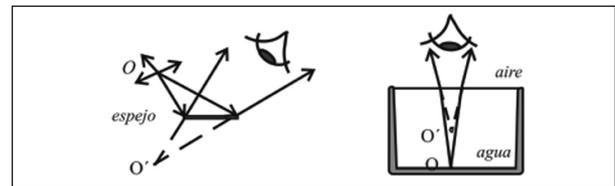
A esta reproducción del objeto que se forma en la retina se la denomina imagen: «[...] definida como obra de la visión [...] y las características de esta imagen (color, posición, distancia, tamaño) no se pueden explicar más que por referencia al ojo» (Cap III de *Ad Vitellionem Paralipomena*, Kepler, 1604). Según este modelo, el objeto puede ser considerado como un conjunto de fuentes puntuales de diferentes tipos de luz y la imagen como la colección de esas mismas fuentes de luz, sólo que con menores intensidades, y por eso reconocemos el objeto al mirar su imagen en una pantalla.

Aunque Kepler asignaba el término «imagen» a la que se obtiene en la retina del ojo y «pintura» a la figura que se puede ver en una pantalla gracias a un sistema convergente, históricamente esta distinción se ha perdido. Así, Descartes (1637) o Newton (Axioma VII, libro 1^a de *Óptica*, 1704) advierten que, dado que el modelo de ojo es ópticamente similar a un sistema óptico convergente formado por una lente delgada y una pantalla, a la representación que vemos en ella también se la denomina

imagen, por imitación a la que se forma en la retina del ojo. Sin embargo, la imagen que vemos en la pantalla de un sistema convergente sólo existe en el ojo del observador. En ausencia de él, sólo podemos decir que en esa pantalla existe una distribución de puntos de luz con diferentes intensidades, similar a la emitida por la fuente luminosa. Esa imagen o reproducción del patrón de luz emitido por el objeto que vemos en la pantalla no es, por tanto, como a veces parece creerse, una especie de objeto plano pegado en ella, como una fotografía, que existiría allí aunque no la miráramos.

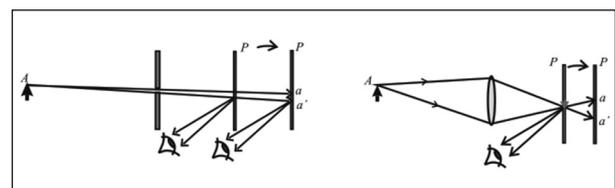
Este concepto de *imagen óptica* permite explicar también los fenómenos de visión indirecta cuando se mira a un espejo o a un objeto sumergido en el agua. Los diagramas de la figura 8 muestran que, de la misma forma que para la visión directa, un haz divergente de luz emitido por cada punto del objeto entra en el ojo para converger en la imagen de la retina. El ojo localiza la posición de lo que ve (que se ha venido denominando «imagen virtual») en el vértice del cono divergente u origen geométrico del haz de luz que llega al ojo. Llamamos la atención sobre el hecho que en estos esquemas de visión de Kepler el punto O' es deducido directamente de sus principios sin necesidad de recurrir, como se hacía en el modelo de Alhazen, a la línea de carácter observacional OO' .

Figura 8
Esquemas de visión indirecta de Kepler.



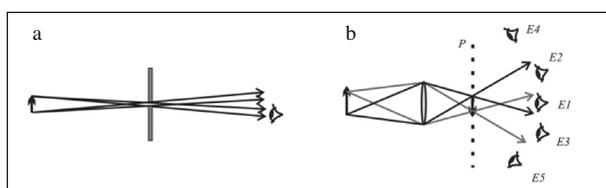
El concepto de *imagen óptica* que se desprende del modelo de visión de Kepler permite, además, explicar las diferencias de la imagen formada por una lente convergente y la réplica formada en una cámara oscura. Así, en la figura 9 podemos comprender por qué en un sistema con lente convergente, al alejar la pantalla, se deja de ver la imagen y, en una cámara de agujero suficientemente pequeño, podemos seguir viendo, prácticamente sin alteraciones, una réplica del objeto (Goldberg et al., 1991).

Figura 9
Efecto producido al alejar la pantalla del agujero y de la lente.



Y en la figura 10a se explica por qué al quitar la pantalla de la cámara oscura no vemos el objeto al mirar hacia él a través del agujero; tan sólo llega a la pupila un haz divergente de luz procedente de un punto del objeto. En cambio, cuando se quita la pantalla y se mira hacia el objeto a través de la lente, tal como se indica en la figura 10b, es posible ver la imagen entera, en el lugar donde antes estaba la pantalla, si el observador se sitúa en aquellas posiciones donde sobre su ojo inciden haces divergentes de luz procedentes de todos los puntos de la imagen, lo que ocurre en la zona E_1 (en E_2 verá la parte inferior; en E_3 la superior; en E_4 y E_5 no se ve la imagen).

Figura 10
Efecto producido al quitar la pantalla.



Siendo cualitativamente tan grandes las diferencias según la teoría de Kepler, si no podemos distinguir si la figura que vemos en una pantalla es una imagen óptica formada con un sistema convergente o es una réplica formada con una cámara oscura de agujero pequeño, es sólo por las limitaciones del poder de resolución del ojo humano. Lo que llamamos «punto» imagen ocupa, en la retina, en realidad, la superficie de tres conos (Huebner y Smith, 1994), lo que equivale a que, en las mejores condiciones de contraste luminoso, no se puedan distinguir separados dos puntos cuya distancia subtienda con el ojo un ángulo menor de $1'$ de arco (Gil del Río, 1984). Si la mancha luminosa producida en la pantalla de la cámara oscura por el haz divergente que deja pasar el agujero es suficientemente pequeña, la luz difundida desde cualquier punto de dicha mancha llega a nuestro ojo y converge en la retina en un área menor que la superficie de tres conos, por lo que es interpretada como si proviniera de un solo punto.

Así pues, en el marco de la teoría de Kepler, la visión consiste en la formación de la imagen óptica y ésta, como hemos discutido anteriormente, requiere la participación del ojo como parte del proceso.

En síntesis, este estudio histórico y epistemológico pone de manifiesto que:

- Los modelos de visión de los filósofos griegos no consideraban la luz como un intermediario entre el objeto que es visto y el ojo del observador para producir la sensación de la visión.

- El modelo de visión de Alhazen supera las carencias anteriores, aunque la formación de cada punto de la imagen óptica se realiza con un único rayo procedente

de cada punto del objeto, lo que es incompatible con las observaciones de la cámara oscura y con el comportamiento de las lentes (desconocidas en su época).

- En el modelo de visión de Kepler el objeto es considerado un conjunto de infinitas fuentes luminosas puntuales que emiten luz en todas direcciones. El ojo es modelizado como un sistema óptico formado por una lente convergente y una pantalla. La imagen óptica de un punto del objeto se forma cuando el haz divergente de luz procedente de él se concentra en un punto de la retina.

- En todas las teorías de la visión, para explicar la visión indirecta, se hacían suposiciones sobre cómo se propaga y comporta la luz (o el fuego visual) al reflejarse y refractarse. El modelo de visión no fue fruto de la aplicación al ojo humano de leyes empíricas sobre el comportamiento de la luz *per se*, descubiertas de antemano. Por el contrario, las primeras ideas sobre la luz se construyeron para explicar cómo vemos.

PROPUESTA DE ESTRUCTURA PROBLEMATIZADA

El anterior estudio permite responder tentativamente a las preguntas iniciales. En primer lugar, el problema fundamental de la óptica que está en el origen de lo que queremos que aprendan nuestros alumnos es el de «¿cómo vemos?», y parece adecuado (añadiendo «¿cómo podemos ver mejor?», para poner énfasis en la dimensión CTSA) para estructurar la enseñanza a partir de él. En segundo lugar, este estudio nos ha permitido identificar las ideas que supusieron grandes avances o pasos necesarios para la elaboración del modelo de visión de Kepler (y que, por tanto, deben ser adquiridas para su comprensión), así como posibles obstáculos que pueden encontrarse. Estas previsiones son de un alto valor para elaborar una secuencia problematizada de actividades con oportunidades para que se den los pasos necesarios y se superen los posibles obstáculos.

Presentamos en el cuadro 1 una síntesis de nuestras decisiones sobre qué grandes pasos son necesarios para llegar a comprender cómo vemos (que también hacen el papel de indicadores de comprensión) y de posibles obstáculos asociados.

De este estudio es posible resaltar, además, que las concepciones sobre cómo se propaga, refleja o refracta la luz aparecieron, en primer lugar, como hipótesis formuladas para explicar la visión y no como consecuencias de un estudio cuyo objeto era la naturaleza de la luz *per se*. Sólo a partir de Newton (con su hipótesis corpuscular de la luz), puede considerarse que la luz adquiere entidad propia –desligada de la visión– como objeto de investigación. Sin embargo, los textos que habitualmente se usan en la enseñanza no se hacen eco ni recogen, en absoluto, esta secuencia para ordenar los contenidos (Perales, 1987). Suelen empezar por el estudio de la reflexión y refracción de la luz, sin hacerlo subsidiario del intento de explicar cómo vemos.

Cuadro 1

Grandes pasos necesarios y obstáculos asociados para la comprensión sobre cómo vemos (modelo de Kepler).

<p>A. Disponer de un modelo de visión en el que se relaciona la luz, el objeto y el ojo del observador, lo que supone:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Concebir el papel del ojo en la visión como receptor de luz. - Saber que los objetos que vemos emiten luz y son, por tanto, fuentes secundarias de luz. - Concebir la luz como una entidad física con existencia independiente en el espacio separada de las fuentes primarias y/o secundarias y del ojo del observador. <p>Posibles obstáculos. Ideas espontáneas basadas en que no es necesario que llegue luz proveniente del objeto al ojo del observador:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La visión consiste en un proceso en el que «algo» es emitido por el ojo o una imagen del objeto llega hasta él. - No es necesario que los objetos que vemos sean fuentes de luz («la luz <i>existe</i> y es necesaria para que veamos los objetos, pero éstos no emiten luz»). - Sólo hay luz cuando existen fuentes luminosas u objetos iluminados, por lo que no se considera una entidad física independiente en el espacio («la luz <i>está</i> en los objetos luminosos o zonas iluminadas»).
<p>B. Disponer de un esquema de representación geométrico e idealizado de la propagación de la luz potencialmente explicativo, según el cual:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los <i>rayos</i> son conceptos ideales no visibles (ni la propia luz) que sólo representan cada una de las direcciones de propagación de la luz. - Las fuentes luminosas extensas (primarias o secundarias) se pueden idealizar como conjuntos de infinitas fuentes luminosas puntuales. - Desde cada fuente puntual la luz es emitida en todas las direcciones (esféricamente). Un haz de luz es parte de la esfera de luz emitida. <p>Posibles obstáculos. Ideas o deficiencias derivadas de no disponer de una concepción geométrica idealizada de la luz:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Creer que la luz o los rayos de luz se ven. No considerar el rayo de luz como una invención, un «constructo teórico» sin entidad material ni color, ni asimilable a los halos de luz que, en ocasiones, se ven alrededor de las fuentes primarias. - No modelizar 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.
<p>C. Saber qué es una imagen óptica y cómo se forma (modelo de Kepler), lo que supone conocer que:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El ojo es un instrumento óptico formador de imágenes en la retina que puede ser modelizado como un sistema formado por un lente convergente y una pantalla. La imagen retiniana aporta información sobre la forma, tamaño, color y lejanía (perspectiva) del objeto que vemos. - En visión directa la imagen se obtiene cuando un haz divergente de luz emitido por cada punto de la fuente luminosa entra en el ojo y converge en un punto de la retina. En visión indirecta, el haz de luz emitido por cada punto de la fuente luminosa, después de incidir en el instrumento óptico (espejo, lente, superficie de separación de dos medios...) es desviado hasta el ojo y la imagen que se obtiene en la retina provoca la sensación de ver una imagen en el punto de donde procedería la luz si no hubiera sido desviada (punto que puede ser localizado geoméricamente por ser el origen directo del haz divergente de luz que entra en el ojo). <p>Posibles obstáculos. Ideas basadas en concebir la imagen como una emanación del objeto.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 al ojo como un instrumento óptico formador de imágenes, por lo que se cree que la imagen tiene existencia independientemente del ojo.

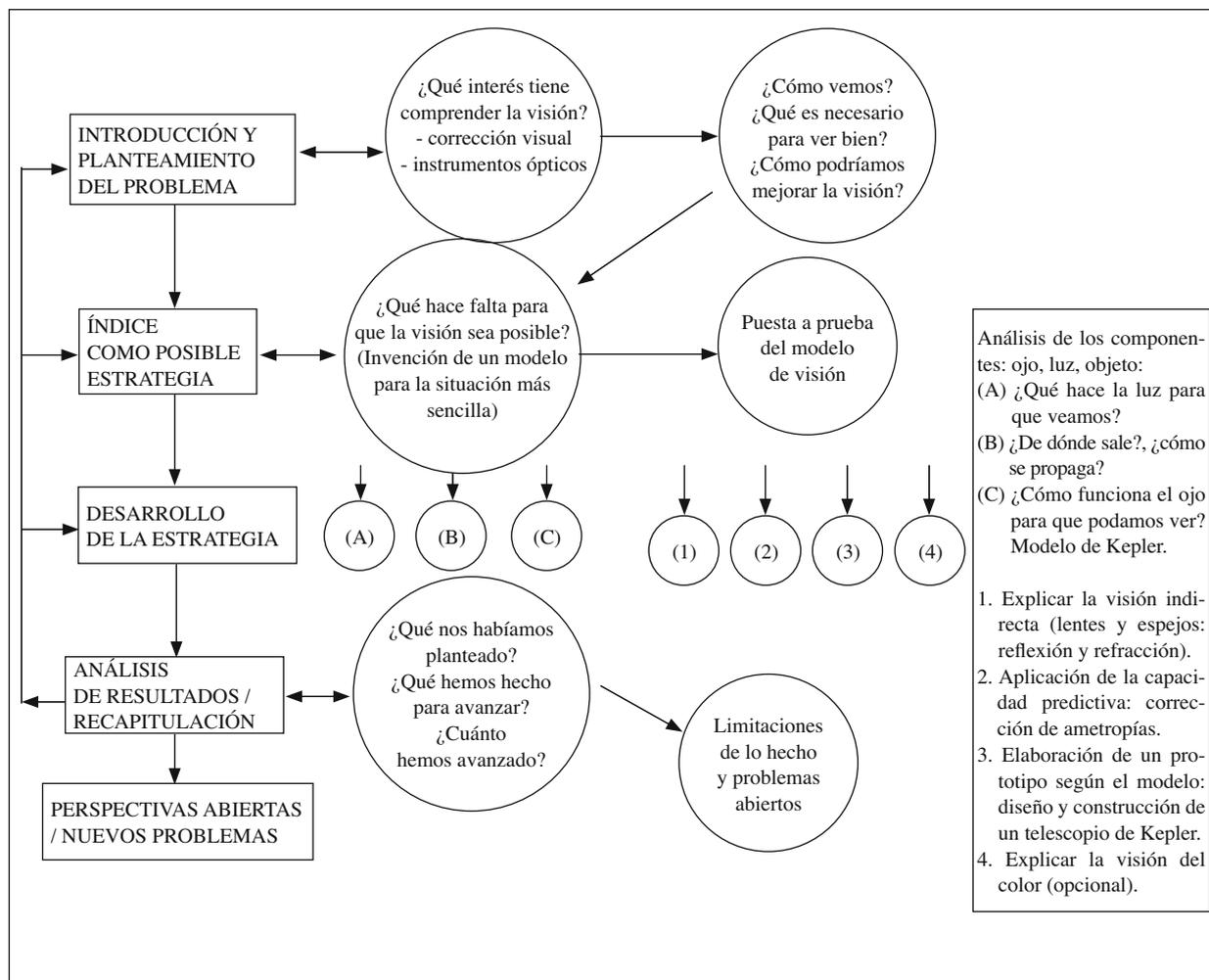
Todas estas consideraciones nos han permitido proponer –de una manera tentativa– una posible estrategia para abordar el problema de cómo vemos y cómo podríamos ver mejor. Presentamos directamente el gráfico de la estructura problematizada del tema (Cuadro 2), que se interpreta intuitivamente y cuya confección hemos encontrado muy útil para planificar, pero también para favorecer las recapitulaciones y la orientación de los alumnos y profesores en el aula. El itinerario de enseñanza que aquí se contempla, así como la necesidad de llevar a la práctica secuencias de enseñanza en las que se contemplen tanto las aportaciones teóricas de la investigación didáctica como el conocimiento práctico de los profesores, están siendo reclamados en trabajos recientes (Andersson y Bach, 2004; Meheut y Psillos, 2004).

Una vez elaborada la «estructura gruesa» del tema, es necesario concretar la estrategia propuesta en una

secuencia de actividades para los alumnos, en un plan concreto de investigación o «programa-guía», de manera que existan oportunidades genuinas de un contexto problematizado (formulación y puesta a prueba de las ideas, realización de recapitulaciones, actividades prácticas para someter a prueba ideas...) y, también, actividades para atacar directamente los posibles obstáculos que puedan tener los alumnos para avanzar con comprensión. Para ello disponemos de la identificación de las metas parciales o pasos necesarios y de los obstáculos previstos para hacer posible su consecución, que ya hemos presentado.

Ahora bien, como hemos avanzado en la introducción, antes de la puesta en práctica de la secuencia de actividades en el aula consideramos necesario realizar un estudio empírico sobre la relevancia didáctica de las metas y obstáculos previstos e identificar ideas de los alumnos sobre los mismos.

Cuadro 2
Gráfico de estructura problematizada del tema «¿Cómo vemos?, ¿cómo podemos ver mejor?».



ESTUDIO EMPÍRICO SOBRE LA PLANIFICACIÓN REALIZADA PARA LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA GEOMÉTRICA

El citado estudio empírico está guiado por la siguiente hipótesis:

«La planificación realizada para la enseñanza de la óptica geométrica, concretada en la estructura problematizada del tema ¿cómo vemos?, es relevante desde el punto de vista didáctico».

Mostrar esta relevancia supone, desde un punto de vista operativo, probar que los obstáculos previstos para la comprensión de las metas parciales al modelo de visión de Kepler, que hemos señalado en el cuadro 1, existen y persisten después de la enseñanza habitual de la óptica. En caso de encontrar una gran persistencia significaría que la atención prestada a dichas metas y obstáculos pue-

de producir mejoras sensibles en el aprendizaje, lo que apoyaría la relevancia de la planificación propuesta.

Además, como hemos señalado, este estudio empírico nos permitirá obtener información de primera mano del tipo de razonamientos y creencias de los alumnos que no han superado dichos obstáculos, de manera que podamos generar oportunidades para que puedan ser tratados y superados en el aula. Y, por último, también servirá como referencia para comparar el efecto producido por nuestra propuesta.

Por supuesto que en este estudio empírico no partimos de cero: numerosos trabajos de investigación sobre las concepciones de los estudiantes en el campo de la óptica pueden ser interpretados como consecuencia de la existencia de estos obstáculos en su pensamiento. Algunas de estas investigaciones han mostrado, por ejemplo:

- La existencia de modelos de visión alternativos a partir

de los cuales los alumnos interpretan la visión sin necesidad de que llegue luz al ojo procedente del objeto y sin tener un esquema geométrico e idealizado de representación de la luz (Andersson y Karrquist, 1983; Collis et al., 1998; Guesne, 1989; La Rosa et al., 1984; Osborne et al., 1993; Saxena, 1991, etc.).

- La existencia de concepciones alternativas sobre la imagen óptica que se muestran inalteradas después de la instrucción. Goldberg y McDermott (1987) han investigado las ideas de los estudiantes del curso introductorio de física de la universidad sobre el comportamiento de las lentes convergentes y la imagen que se ve en una pantalla y han constatado que un elevado porcentaje de estudiantes piensa que la imagen sigue existiendo aunque se elimine la pantalla, que se seguiría viendo aunque se aleje la pantalla y que se vería la mitad si se tapara media lente. Galili (1996) explica las respuestas de los estudiantes que han investigado Goldberg y McDermott y él mismo, a partir de dos tipos de esquemas de pensamiento:

a) Esquema ingenuo de pensamiento, o de «imagen holística», característico de los alumnos antes de la instrucción, ontológicamente similar a la teoría de los filósofos atomistas griegos (Galili y Hazan, 2000a, 2000b).

b) Esquema de conocimiento del novato o «de imagen proyectada», ontológicamente similar a la teoría de Alhazen (Galili y Hazan, 2000a, 2000b).

Este tipo de razonamiento común es coherente con la tendencia de los estudiantes a materializar los conceptos de la física que ha señalado L. Viennot (2002) a propósito de las ideas alternativas sobre la imagen óptica.

- La metodología y la forma de introducir los conceptos han sido estudiados por Viennot y Kaminski (1991), quienes han señalado la existencia de una «ilusión» escolar al creer que el aprendizaje de los procedimientos algorítmicos conlleva la comprensión de los conceptos, por lo que parece intuirse que la enseñanza habitual, basada básicamente en la repetición de algoritmos geométricos de construcciones de imágenes, no permite superar las dificultades señaladas para la comprensión de la imagen óptica.

La información sobre la existencia de un obstáculo se podría obtener de varias cuestiones (ver Anexo), lo que ha permitido utilizar distintas combinaciones de las mismas y valorar la coherencia de las respuestas.

Los resultados han sido obtenidos a partir de las siguientes tres muestras:

- Muestra preinstrucción de ESO: 71 alumnos de ESO (29 de 2º curso y 42 de 3º) de entre 13 y 15 años de edad que no habían recibido enseñanza sobre óptica geométrica. Los alumnos respondieron a una selección de cuestiones del anexo durante una sesión de clase al final del segundo trimestre del curso 2000-2001. Para clarificar el significado de algunas respuestas, aproximadamente la mitad de los alumnos de esta muestra fueron entrevistados con posterioridad individualmente.

- Muestra postinstrucción de ESO: 183 estudiantes de 2º curso de ESO, de entre 13 y 15 años (98 alumnos de un colegio privado que habían recibido enseñanza sobre óptica geométrica durante 12 sesiones de clase siguiendo la unidad didáctica contenida en el libro de texto de 2º de ESO de la editorial Oxford University (Barrio, 2003) durante el curso 2003-2004, y 85 alumnos de un instituto público que durante 18 sesiones del curso 2002-2003 habían utilizado apuntes elaborados por los profesores). Las respuestas fueron recogidas inmediatamente después de haber terminado la enseñanza de esa unidad didáctica.

- Muestra postinstrucción de bachillerato: 59 alumnos de 2º de bachillerato (17-19 años) de cuatro institutos públicos. Los cuestionarios fueron contestados entre una semana y un mes después de haber terminado el tema de óptica geométrica que forma parte del temario de la asignatura de física y de la prueba de selectividad.

No consideramos necesario precisar más detalles de las características de las muestras ya que, como han encontrado Perales y Nievas (1989), en el campo de la óptica geométrica el análisis correlacional parece confirmar que existe independencia entre las variables sociales (sexo, tipo de residencia, estudios de los padres, ocupación...) y las variables cognitivas (o tipo de respuestas ante fenómenos de óptica) de los alumnos.

RESULTADOS SOBRE LA SUPERACIÓN DE LAS METAS Y OBSTÁCULOS PREVISTOS

En los siguientes cuadros de resultados (Cuadros 3, 4, y 5) se puede observar que la existencia de cada obstáculo ha sido valorada, generalmente, a partir de varias consecuencias contrastables cuyo porcentaje, a su vez, ha sido obtenido en distintos ítems del cuestionario. También presentamos un valor medio de cada una de esas consecuencias. Estos resultados medios se justifican no sólo con la intención de facilitar su valoración, sino conscientes de que los resultados de la investigación educativa (National Research Council, 2001) se obtienen en un contexto en el que influyen multitud de variables (relacionadas con el comportamiento humano, con el lenguaje utilizado, con el tipo de situación planteada, etc.) que quedan fuera del control directo de los investigadores, por lo que los resultados son más tentativos que en las ciencias físicas. Esto significa que los límites de error asociados con las inferencias científicas tienden a ser más grandes en la investigación educativa, a veces debido al «ruido» causado por las dificultades en la precisión de la medida o la importancia de los factores contextuales.

En total se han valorado 25 aspectos de cada uno de los cuestionarios ya que, como muestran las tablas siguientes, en cada una de las ocho cuestiones se han valorado varios aspectos.

Cuadro 3

Resultados sobre la existencia y persistencia de obstáculos para disponer de un modelo de visión en el que se relaciona la luz, el objeto y el ojo del observador.

Porcentaje de alumnos que no disponen de un modelo de visión en el que se relaciona la luz, el objeto y el ojo del observador, ya que...	Antes de la enseñanza		Después de la enseñanza habitual				Códigos cuestiones
	ESO n = 71 % Sd		ESO n = 183 % Sd		BAC n = 59 % Sd		
A₁ . No consideran necesario que llegue luz procedente del objeto al ojo: – Para ver directamente. – Para ver en un espejo. – Para ver un objeto sumergido. Valor medio A₁	89 92 92 91	4 3 3 3	60 83 --- 72	4 3 3 3	34 36 47 39	6 6 6 6	C.1, C.1.1 C.5 C.8
A₂ . No consideran a los objetos iluminados fuentes luminosas, por lo que: – No señalan que los objetos emiten luz al ser iluminados. – No citan objetos iluminados como ejemplos de fuentes luminosas. Valor medio A₂	92 ----- 92	3 3	78 76 77	3 3 3	53 ----- 53	6 6	C.2 C.2.1
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. – Creen que la luz desaparece cuando se apaga la fuente luminosa. Valor medio A₃	86 89 88	4 4 4	86 92 89	3 2 2	70 85 78	6 5 5	C.3a C.3b

Cuadro 4

Resultados sobre la existencia y persistencia de obstáculos para disponer de un esquema básico de representación geométrica e idealizada de la propagación de la luz potencialmente explicativo.

Porcentaje de alumnos que no disponen de un esquema de representación idealizada de la propagación de la luz potencialmente explicativo/predictivo, ya que...	Antes de la enseñanza		Después de la enseñanza habitual				Códigos cuestiones
	ESO n = 71 % Sd		ESO n = 183 % Sd		BAC n = 59 % Sd		
B₁ . Creen que la propia luz es visible.	83	4	73	3	59	6	C.4, C.4.1
B₂ . No consideran las fuentes extensas de luz como conjuntos de emisores puntuales: – Al explicar la visión directa de un objeto. – Al explicar la visión de un objeto en un espejo. – Al representar la luz difundida por un objeto. – Al explicar la formación de la imagen en una pantalla. Valor medio B₂	83 87 96 92 90	4 4 2 3 3	88 94 94 73 87	2 2 2 3 2	59 47 88 19 53	6 6 4 5 6	C.1, C.1.1 C.5 C.2 C.7a
B₃ . No representan haces de luz emitidos desde cada punto del objeto: – Al explicar la visión directa de un objeto. – Al explicar la visión de un objeto en un espejo. – Al explicar la visión de un objeto sumergido en agua. – Al explicar la formación de una imagen en una pantalla. – Al predecir la sombra y penumbra. Valor medio B₃	100 100 100 100 94 99	- - - - 3 1	97 98 --- 99 --- 98	1 1 1 1	97 97 97 93 76 92	2 2 2 3 6 4	C.1, C.1.1 C.5 C.8 C.7a C.6

Cuadro 5
Resultados sobre la existencia y persistencia de obstáculos para disponer del modelo de formación de imágenes de Kepler (el mínimo con suficiente entidad y capacidad explicativa y predictiva para ser enseñado en la etapa secundaria).

Porcentaje de alumnos que no disponen de un modelo de formación de imágenes que sea funcional (el modelo de Kepler), ya que ...	Antes de la enseñanza		Después de la enseñanza habitual				Códigos cuestiones
	ESO n = 71 % Sd		ESO n = 183 % Sd		BAC n = 59 % Sd		
C₁ . Creen que la imagen se traslada «ya hecha» desde el objeto o que los rayos son portadores de cada uno de los puntos de la imagen, lo que se manifiesta en que:							
<ul style="list-style-type: none"> ▪ No realizan correctamente los esquemas de formación de la imagen que se ve: <ul style="list-style-type: none"> – Al mirar a un espejo. – Al mirar hacia un objeto sumergido. – Al mirar a una pantalla donde se ve la imagen formada por una lente convergente. ▪ Consideran que la imagen que se ve en una pantalla: <ul style="list-style-type: none"> – Es mueve con la pantalla. – Existe aunque se quite la lente. – Se ve la mitad al tapar media lente. 	100 -	-	99 1	97 2	95 3	86 5	C.5 C.8 C.7a
Valor medio C₁	96 2		95 2	83 5			
C₂ . No consideran al ojo como un instrumento óptico formador de imágenes, por lo que:							
<ul style="list-style-type: none"> – No explican la percepción de la forma y el tamaño de los objetos que vemos a partir de la imagen retiniana. – El ojo no participa como receptor de luz en los trazados gráficos de formación de la imagen en un sistema lente-pantalla. 	-		97 1	53 6			C.1.1 C.7a
Valor medio C₂	100 -		94 2	75 6			

Un análisis de los resultados que hemos presentado en las tablas anteriores permite afirmar que:

• Respecto a disponer de un modelo (correcto o no) que al menos relacione la luz, el objeto y el ojo (Cuadro 3):

– La inmensa mayoría (más del 90%) de los estudiantes entre 13 y 15 años, antes de la enseñanza, no cree que la visión se produzca por recepción de luz en el ojo, sino que la describen a partir de modelos de visión activos (en los que el ojo emite «la mirada»), de modelos de emanación de imágenes o de modelos mixtos. Como consecuencia, los alumnos admiten que los objetos iluminados no emiten luz, que sólo existe luz en las fuentes primarias o en sus alrededores y que cuando se apaga la fuente, la luz deja de existir. El porcentaje de existencia de estos obstáculos sólo disminuye un 10% después de la enseñanza en este nivel. La creencia de que podemos ver un objeto sin que nos llegue luz emitida por el mismo a nuestros ojos se encuentra presente en el 39% de los alumnos de 2º curso de bachillerato después de la enseñanza. No obstante, el porcentaje empeora (aumenta) cuando se consideran cuestiones no relacionadas con la visión: el 53% de los alumnos de bachillerato piensa que un papel iluminado no emite luz y en torno a las tres cuartas partes creen que la luz sólo está alrededor de los objetos o zonas iluminadas, o desaparece cuando se apaga la fuente luminosa («si no la vemos, no está»).

• Respecto a disponer de un esquema idealizado de representación geométrica de la luz, potencialmente explicativo:

– El 83% de los alumnos de ESO antes de la enseñanza, el 73% después de ella, y el 59% de los alumnos de 2º curso de bachillerato creen que la propia luz se ve. Esto explica, posiblemente, que no consideren que llega luz a nuestros ojos cuando vemos un objeto «ya que no ven la luz, ven el objeto». Como se observa en B₂ (Cuadro 4) alrededor del 90% de los estudiantes de ESO y más de la mitad de los de bachillerato no consideran las fuentes extensas como conjuntos de puntos luminosos que emiten en todas las direcciones, aspecto crucial para la adquisición de un modelo funcional de la formación de imágenes.

– La disponibilidad de un modelo cuyas consecuencias geométricas permita explicar o predecir fenómenos ópticos es nula en los alumnos de ESO y prácticamente nula en los de 2º de bachillerato después de la enseñanza de la óptica (en el mejor de los casos, tan sólo un 7% y un 24%, respectivamente, representan haces de luz emitidos desde cada punto de un objeto cuando explican la formación de una imagen en una pantalla o para predecir la formación de sombras y penumbras). Este dato es revelador de que la idealización de los objetos que vemos como sistemas de infinitas fuentes

puntuales que emiten luz en todas las direcciones es una verdadera barrera y un aspecto crucial al que se le deberá prestar mucha atención.

- Por último, respecto a la disponibilidad de un modelo de formación de imágenes que sea funcional (el modelo de Kepler):

– La práctica totalidad de los alumnos de ESO, cuando se enfrentan a explicar fenómenos de visión indirecta (espejos, líquidos...) o la formación de imágenes mediante lentes convergentes en una pantalla, creen que una imagen emana «ya hecha» de los objetos o es portata por los rayos de luz (concepciones similares a las de los filósofos griegos o a las de Alhazen). Coherentemente con esto, más del 90% de los estudiantes opina que la imagen seguiría existiendo al alejar la pantalla o incluso al quitar la lente; y que si se tapa media lente sólo veríamos media imagen (dando a entender que el obstáculo que se ha interpuesto ante la lente ha impedido que pase la otra mitad, lo que es lógico si se piensa tanto que la imagen se traslada entera o que cada rayo individual transporta un trocito de la imagen, similar al modelo de Alhazen). El ojo no es considerado parte del dispositivo lente-pantalla y se cree que la imagen que se ve en la pantalla tiene existencia independiente de la presencia del observador por lo que prácticamente nunca participa en los trazados gráficos que realizan al contestar las cuestiones. Muchas de las consecuencias que se derivan de la hipotética presencia de esos obstáculos conceptuales y epistemológicos en los estudiantes las hemos encontrado en, aproximadamente, un 90% de los alumnos de ESO y son convergentes con los resultados de otras investigaciones, lo que refuerza la confianza en nuestros datos. La concepción de imagen óptica que se deriva de estos datos puede interpretarse desde el punto de vista de la tendencia espontánea a materializar los conceptos de la física, lo que Bachelard (1938) ya denominó «obstáculo substancialista». Así, la imagen óptica tiene las propiedades de un objeto que se propaga y se pega a la pantalla cuando la encuentra, o el rayo que, como los objetos que se ven, también puede verse en ciertas condiciones.

– Los resultados de los alumnos de 2º de bachillerato, que ya han dado el tema de óptica (Cuadro 5), confirman que dichos obstáculos son persistentes en la enseñanza habitual, ya que más del 80% sigue creyendo que la imagen se traslada ya hecha desde el objeto o que cada rayo individual es portador de un trozo de la imagen. En la práctica totalidad de los casos, el ojo no participa en los trazados gráficos que realizan para explicar la formación de la imagen en una pantalla.

Por otro lado, las respuestas de los estudiantes a estos cuestionarios permiten conocer de primera mano multitud de detalles de su pensamiento muy útiles para el diseño de cualquier unidad didáctica de este tema. Los esquemas mayoritarios de los alumnos de ESO antes de la enseñanza sobre la visión directa y la visión indirecta, que mostramos en las figuras 11 y 12, ayudan a comprender su pensamiento.

Figura 11
Esquemas alternativos a la visión directa.

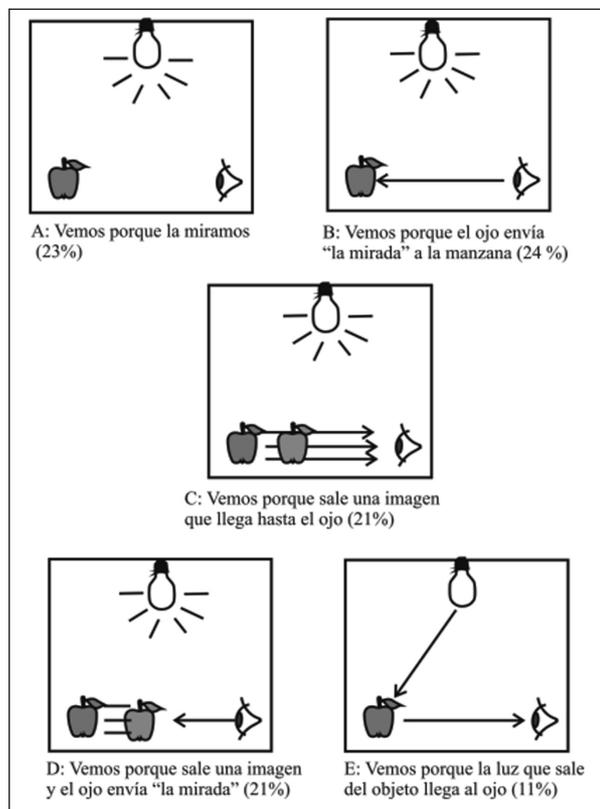
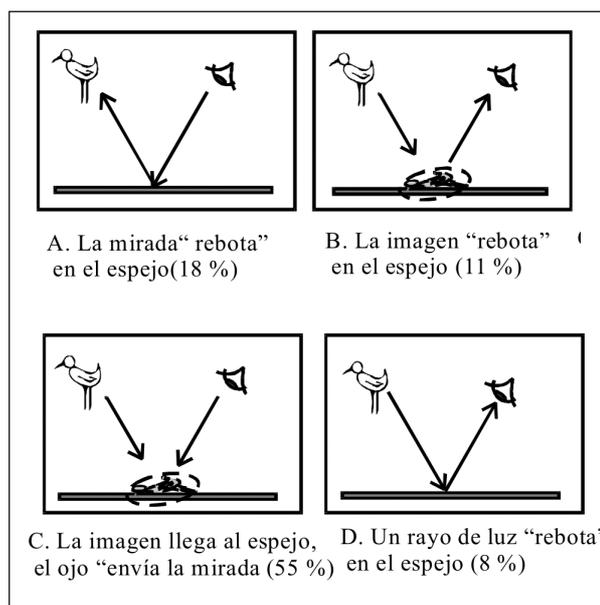


Figura 12
Esquemas alternativos a la visión indirecta.



CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los datos obtenidos en nuestra investigación, tal y como hemos analizado anteriormente, revelan carencias absolutas en los indicadores de comprensión del modelo de visión de Kepler y apoyan la relevancia de las metas y obstáculos previstos a partir de nuestro estudio sobre la evolución de las ideas de la óptica geométrica. Podemos afirmar que, tanto antes como después de la enseñanza, los estudiantes de 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. Aunque existe alguna mejora en los estudiantes de 2º curso de bachillerato después de la enseñanza, siguen presentando graves carencias ya que prácticamente nunca utilizan haces divergentes de luz en los trazados gráficos y carecen de una concepción de imagen óptica acorde con el

modelo de Kepler, lo que refuerza nuestra convicción de que estos aspectos deben recibir una cuidadosa atención al planificar la enseñanza de la óptica geométrica para que puedan ser superados por los estudiantes.

En resumen, la planificación de la enseñanza de la óptica que hemos realizado y la información obtenida al probar su relevancia didáctica nos permite ofrecer a los equipos de profesores la posibilidad de elaborar secuencias de actividades según una estructura problematizada con cierta garantía. No obstante, la verdadera «relevancia didáctica» requiere mostrar que el desarrollo de la secuencia problematizada en el aula derivada de esta planificación produce mejoras importantes en el aprendizaje de la óptica geométrica. Los resultados de la puesta en práctica de dicha secuencia problematizada a lo largo de tres años, parte de los mismos presentados en Osuna et al. (2005), serán objeto de un próximo trabajo.

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*. Published online in Wiley InterScience <www.interscience.wiley.com>.
- ARISTÓTELES (1993). *Parva Naturalia*. Madrid: Alianza.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. París: Vrin.
- BARRIO, J., BERMÚDEZ, M.L., FAURE, A. y GÓMEZ, M.F. (2003). *Ciencias de la Naturaleza 2º ESO*. Madrid: Oxford University Press.
- CHEVALLIE, C. (1980). *Kepler. Les fondements de l'optique moderne. Introducción y notas a la traducción de Paralipómènes a Vitellion*. París: Vrin.
- COLLIS, K.F., JONES, B.L., SPROD, T., WATSON, J.M., y FRASER, S.P. (1998). Mapping development in students' understanding of vision using a cognitive structural model. *International Journal of Science Education*, 20(1), pp. 45-66.
- CROMBIE, A.C. (1996). *Historia de la ciencia: De San Agustín a Galileo (I)*. Madrid: Alianza.
- DEDES, C. (2005). The Mechanism of Vision: Conceptual Similarities between Historical Models and Children's Representations. *Science Education*, 14, pp. 699-712.
- DESCARTES, R. (1637). *Discurso del método, Dióptrica, Meteoros y Geometría* (Edición de 1981). Madrid: Alfaguara.
- 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.). pp. 1-9. Leiden: Taylor & Francis
- 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. (1996). Student's conceptual change in geometrical optics. *International Journal of Science Education*, 18(7), pp. 847-868.
- 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) Supplement 1*, 68(7), pp. 3-15.
- GIL, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*. 5, pp. 111-121.
- 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.

- GIL DEL RÍO, E. (1984). *Óptica fisiológica*. Barcelona: Toray.
- 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.
- GOLDBERG, F., BENDALL S. y GALILI I. (1991). Lens, Holes, Screens and eye. *The Physics Teacher*, abril, pp. 221-224.
- GUESNE, E. (1989). La luz, en Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. *Ideas científicas en la infancia y adolescencia* (Cap. 2). Madrid: Morata.
- HUEBNER, J.S. y SMITH, T.L. (1994). Why magnification works. *The Physics Teacher*, 32, pp. 102-103.
- KEPLER, J. (1604). *Les fondaments de l'optique moderne. Paralipomènes a Vitellion* (Edición 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 of Science Education*, 6(4), pp. 387-397.
- 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.
- 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.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2001). *Scientific Inquiry in Education*. Washington, DC: National Academy Press.
- NEWTON, I. (1704). *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz* (Edición 1997). Madrid: Alfaguara.
- 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. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2005). La enseñanza de la luz y la visión con una estructura problematizada: propuesta de secuencia y puesta a prueba de su validez. *VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*. Número extra, <http://blues.uab.es/rev-ens-ciencias/>.
- PERALES, F.J. y NIEVAS, F. (1989). Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables. *International Journal of Science Education*, 11(3), pp. 273-286.
- SAXENA, A.B. (1991). The understanding of properties of light by students in India. *International Journal of Science Education*, 13(3), pp. 283-289.
- SOLÍS, C. y SELLÉS, M. (2005). *Historia de la Ciencia*. Madrid: Espasa.
- TARÁSOV, L. y TARÁSOVA, A. (1985). *Charlas sobre la refracción de la luz*. Moscú: Mir.
- VERDÚ, R., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. y OSUNA, L. (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada. *Alambique*, 34, pp. 47-55.
- VIENNOT, L. y KAMINSKY, W. (1991). Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), pp. 3-9.
- VIENNOT, L. (2002). *Razonar en física. La contribución del sentido común*. Madrid: Antonio Machado.

[Artículo recibido en septiembre de 2005 y aceptado en febrero de 2007]

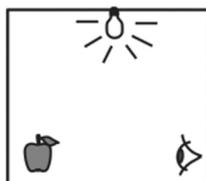
ANEXO

Cuestionario sobre «La luz y la visión»

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

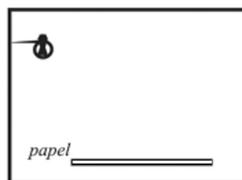
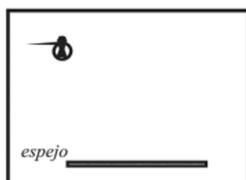


Dibuja en el esquema anterior las líneas y rayos de luz que consideres necesarios para aclarar tus ideas.

C-1.1 a) Explica cómo podemos ver un objeto.

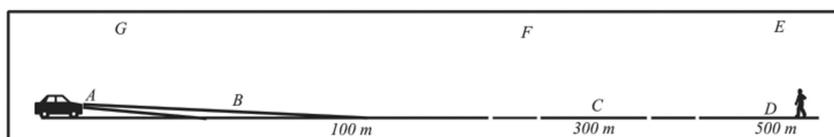
b) Explica también por qué al ver un objeto reconocemos si es de mayor o menor tamaño o si es de una forma u otra. Dibuja esquemas que ayuden a comprender tus razonamientos.

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).



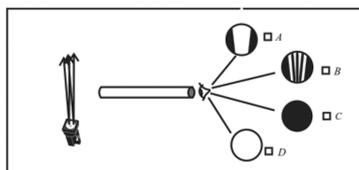
a) Indica las zonas donde crees que hay luz:

.....

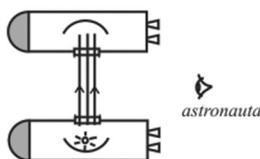
b) Cuando se apagan los faros del coche, ¿dónde crees que está, ahora, la luz que había en esas zonas?

.....

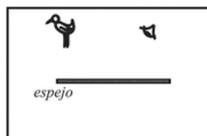
C-4. En una habitación de paredes negras cuya única fuente de iluminación es una linterna, una persona mira a través de un tubo hacia el haz de luz de la linterna. ¿Qué verá en esta situación? Señala con una **X** la opción que creas correcta.



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 una persona que ve la imagen de un pájaro al mirar a un espejo.

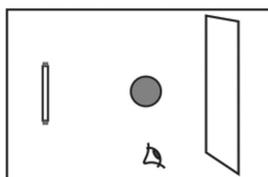


a) Después de leer con atención las siguientes frases, señala con una **X** cuál es para ti la mejor explicación sobre cómo vemos su imagen al mirar al espejo.

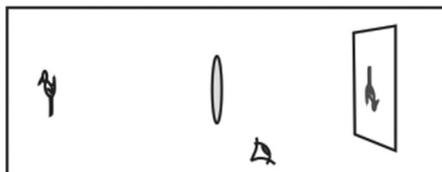
- El ojo envía «la mirada» que rebota en el espejo y llega al pájaro.
- Una imagen del pájaro llega al espejo, rebota y llega hasta el ojo.
- Una imagen del pájaro llega hasta el espejo y se queda en él. El ojo envía «la mirada» a esa imagen en el espejo.
- Una parte de la luz que sale de cada punto 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. Situamos delante de él una pelota, ¿cómo será (en tamaño, forma, color...) 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:

- Sólo se formará la mitad superior de la imagen.
- Sólo 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 sí se llena con agua sí puede verse. Explica este fenómeno y dibuja un día



