



# **Construcción de un telescopio de Kepler: Fundamentación teórica**

**Luís Osuna García**

***IES Luís García Berlanga, San Juan***

**Victor Ferrándiz Sempere,  
Jorge Lilao Chinchilla, Rubén López Gea,  
Sergio Puyó Martínez, Mario Tomás Ripoll**

***Alumnos de 3º de ESO***



## Introducción

El diseño y construcción de instrumentos de medida, de observación o de dispositivos técnicos es un recurso didáctico relevante para familiarizar a los alumnos en este aspecto clave del trabajo científico.

Además, como veremos, la participación en el diseño y construcción de un telescopio sencillo es una ocasión privilegiada para poner a prueba los conceptos y el modelo de visión elaborados a lo largo de la unidad didáctica. También permite el estudio de algunas relaciones ciencia/técnica/sociedad como las relaciones con otras áreas de conocimiento (astronomía...), las aplicaciones tecnológicas en campos muy distintos para el que fueron desarrollados (militar...) o las implicaciones sociales que históricamente tuvieron lugar (disputas por reclamar el mérito de su invención...), etc. Pero si estos aspectos son suficientemente importantes para la justificación de la construcción de un telescopio sencillo en el ámbito escolar, aún lo es más la ayuda que puede suponer para superar uno de los criterios epistemológicos por los que se rige el pensamiento espontáneo. Desde este punto de vista, diseñar, construir y utilizar (con significado) un telescopio, no sólo permitirá tener un concepto no "mágico" de *imagen óptica*, sino modificar la tendencia de interpretar los fenómenos a partir del conocimiento obtenido estrictamente por la percepción (Martínez Torregrosa et al., 1993). Recordemos a este respecto, por ejemplo, las dificultades que tuvieron los filósofos naturales en tiempos de Galileo de aceptar lo que veían por uno de estos instrumentos; no sólo tenían poderosas razones de índole intelectual para desconfiar de lo que no veían a simple vista (estrellas dobles, planetas con forma de disco o en fase...), sino que la "gente prudente" no se mostraba dispuesta a admitir que un dudoso aparato anulara la evidencia de primera mano que aportaban los ojos (Boorstin, 1994).

El objeto de esta comunicación es, pues, mostrar el proceso de construcción de un telescopio sencillo en el marco de la enseñanza de la "luz y la visión" en el 2º ciclo de la ESO. Para ello, en primer lugar, fundamentaremos el problema que organiza la unidad didáctica en donde se desarrolla, posteriormente revisaremos algunos de los conceptos ópticos implicados y un modelo de visión elemental y, por último, daremos las características de su diseño (incluyendo aspectos prácticos, como la forma de obtener los materiales de forma económica) planteando, incluso, algunos de los problemas que se deben superar para mejorar la calidad de la imagen y que limitan la validez de los avances conseguidos en la ciencia de la luz hasta aquí desarrollados.

## 1. La organización de la enseñanza de la luz y la visión, en el 2º ciclo de la ESO

Desde un modelo de enseñanza por investigación, organizar la enseñanza de la luz y la visión supondrá abordar preguntas como éstas:

*¿Qué problemas están en el origen de las teorías que queremos que pasen a formar parte de la forma de pensar de nuestros alumnos? Y como consecuencia, ¿qué problema se puede plantear para originar la estructura del tema? Y suponiendo un ambiente que suministre oportunidades para la apropiación de la epistemología científica, ¿qué estrategia se debería seguir para avanzar en la solución al problema planteado?*



Identificar estos problemas y planificar una estrategia de investigación que permita plantear los aspectos relevantes que constituyen las teorías científicas, requiere un estudio histórico y epistemológico de la materia seleccionada. Realizado este estudio, no obstante, con la intención de que sea útil y factible para la clase, está guiado por preguntas tales como:

- ¿Qué teoría o parte de la misma queremos que hayan aprendido nuestros alumnos al finalizar el tema? (¿Cuál debería ser, por tanto, el objetivo clave del tema?)
- ¿Qué preguntas o situaciones problemáticas están en el origen del proceso que condujo al desarrollo de la teoría?
- ¿Cuáles son/fueron los obstáculos más importantes que hubo que superar y los puentes que hubo que levantar para avanzar en la solución al problema planteado? (Identificación de objetivos/obstáculos).
- ¿Qué ideas, qué razonamientos pueden tener los alumnos sobre los aspectos anteriores que puedan suponer obstáculos para el aprendizaje y que, por tanto, deben ser tratados?

### 1.1 Análisis histórico de las ideas sobre la luz y la visión

El análisis histórico revela que las primeras teorías no fueron sobre la luz como fenómeno físico independiente; los filósofos naturales se preocuparon antes de la visión de los objetos y de las "ilusiones" que se observan en espejos o en objetos sumergidos en agua y, por tanto, de comprender cómo se forman las imágenes, que de conocer la naturaleza de la luz. Detectar las dificultades que encontraron nos deberá permitir avanzar en nuestra intención de formular el problema que estructure la unidad didáctica, clarificar cuál es el objetivo clave, es decir, qué queremos que los alumnos aprendan y detectar cuáles son los obstáculos más importantes que habrá que superar/puentes que habrá que levantar para avanzar en el problema planteado.

Los antiguos filósofos concebían la visión como un *proceso activo del ojo* viviente y no como el registro pasivo de impresiones externas:

- Los filósofos pitagóricos creían en la emanación, desde el ojo, de un fuego invisible que se proyectaba como rayos visuales sobre los objetos provocando la visión.
- Demócrito y los atomistas pensaban que de los objetos emanaban sutiles capas de átomos que forman un simulacro del objeto, la "eidola", que proyectada por rayos viaja hasta los ojos para provocar la visión. Pero, ¿por qué los ojos no emiten de noche?, ¿cómo cabe en la pupila el simulacro de, por ejemplo, el monte Olimpo?, ¿cómo un objeto único puede producir el número suficiente de emisiones para que llegaran a toda la gente que lo ve a la vez?
- Aristóteles y Galeno, al enfrentarse a estos problemas propusieron un mecanismo mixto en el que la emisión desde los objetos y la emisión desde los ojos (los rayos visuales) interaccionan para producir la visión (Sellés M. y Solís, C., 1991).

El científico árabe Alhacen, alrededor del año 1.000, descartó la idea de los rayos visuales y de los simulacros propuestos por los filósofos griegos al plantear el siguiente problema: si el grado de oscuridad y color de un objeto cambia en concordancia con la iluminación y los rayos visuales fueran responsables de la visión, entonces la visión no debería estar influida por con-



diciones externas. Para avanzar ante esta objeción, idealizó los objetos como conjuntos de puntos luminosos que emiten luz en todas las direcciones de forma instantánea. Para explicar el proceso de la visión relacionó cada punto del objeto con un punto del ojo a partir de la emisión de un rayo que entra en el ojo y que, por tanto, portaría información estructural de cada punto del objeto. Con este modelo de visión, en donde la luz es una entidad independiente en el espacio separada de la fuente, del objeto y del ojo, emitió hipótesis sobre la reflexión y la refracción para explicar cómo nos vemos ante un espejo o por qué vemos los objetos sumergidos en el agua de forma diferente y en distinta posición. Con esta teoría, Leonardo da Vinci construyó un modelo de ojo similar a una cámara oscura y aunque el modelo era muy imperfecto, el proceso de analogía entre un instrumento óptico y el ojo humano tuvo un papel cognoscitivo histórico ya que con ello la óptica comienza a dejar de ser una ciencia de la visión para convertirse en una ciencia de la luz (Tarásov, 1985).

Aunque desde el año 1.300 se tiene constancia de la existencia de talleres en Europa que construían lentes, e incluso se utilizaban para corregir la presbicia y otros defectos visuales, los filósofos naturales de la Edad Media veían obstaculizada la investigación de los efectos de las lentes por sus teorías sobre la luz y la visión. En esa época imperaba el concepto de “ojo activo” cuya experiencia visual dependía del alma interna, lo que implicaba la existencia de dos barreras conceptuales que habría que superar: la consideración de la luz como una entidad en el espacio, independiente de los objetos y del ojo y el tratamiento del ojo como instrumento óptico. Además, la fabricación de instrumentos y el estudio de la óptica estaba limitado por obstáculos religiosos. Frases contenidas en las Escrituras como: “*Dios es la luz...*”, “*El primer día de la creación Dios dijo: hágase la luz; y la luz se hizo*”, y “*el cuarto día creó el Sol, la Luna y las estrellas*”, etc., suponían que tratar los problemas de la luz como un fenómeno puramente físico era como investigar la química de la Eucaristía (Boorstin, 1994).

Kepler presentó una objeción al modelo de ojo como cámara oscura, ya que conocía la existencia del cristalino y había estudiado el comportamiento de las lentes convergentes: si la imagen que vemos en una pantalla se forma a partir de un solo rayo procedente de cada punto del objeto, ¿por qué sólo se localiza la imagen a una única distancia? En 1.604, propuso un modelo de ojo como una cámara oscura con una lente convergente en su interior y donde la imagen del objeto visto se forma en la retina después de trazar un doble cono de rayos entre cada punto del objeto y cada punto correspondiente de su imagen (Prat, 1969). De esta forma el rayo deja de portar información estructural del objeto y la imagen óptica se forma por una colección de puntos que, como el objeto de donde procede, repiten el proceso de emisión de luz en otra posición espacial. Con este modelo fue capaz de construir, mediante trazados de rayos, las imágenes formadas por lentes y aplicar esos conocimientos al tratamiento de la miopía y la presbicia e incluso a la construcción de telescopios de refracción. Con los tratados de Kepler se completó el modelo físico de visión y se avanzó mucho en la comprensión de las imágenes formadas por las lentes, pero nada se modificó en lo que respecta a la propagación instantánea de la luz, a la visión de los colores o a su propia naturaleza.

## 1.2 Consecuencias didácticas

Del análisis histórico se desprende la existencia de las siguientes barreras conceptuales que supusieron obstáculos epistemológicos a la comprensión



de la luz y la visión. Señalar estos obstáculos tendrá evidentes consecuencias didácticas:

- A. La ciencia se ocupó del problema de *cómo vemos* los objetos, un problema de suficiente entidad, antes que de la naturaleza de la luz. Si la luz es un fenómeno corpuscular u ondulatorio deberá ser abordado con posterioridad a la consideración de la luz como una entidad en el espacio independiente de los objetos y del ojo. La naturaleza de esta entidad podrá ser cuestionada después de, al menos, conocer los fenómenos que explica y sus limitaciones.
- B. El avance en la comprensión de *cómo vemos* supuso pasar a considerar los objetos como conjuntos de puntos luminosos, es decir, como conjuntos de fuentes puntuales secundarias.
- C. El ojo debió ser considerado como un instrumento óptico en interacción con la luz para la formación de la imagen óptica. Esto implicará que la formación de las imágenes por los distintos instrumentos ópticos (espejos, lentes...) sólo será posible con la presencia del ojo como receptor.
- D. La imagen óptica se formará cuando un haz de luz procedente de un punto del objeto, converja a otro punto después de atravesar la lente.
- E. Las leyes de la óptica geométrica no fueron enunciadas independientemente del modelo de visión y del concepto de imagen óptica, es más, estas leyes pueden ser consideradas como hipótesis a considerar como consecuencia de un modelo de visión bien establecido.
- F. Los rayos de luz son constructos teóricos sin entidad física, es decir, son representaciones de la propagación rectilínea que permiten delimitar el haz de luz, objeto de estudio, emitido por un punto.

Por otro lado, es lógico pensar que las dificultades que se han señalado anteriormente como consecuencia de un análisis histórico aparezcan en los trabajos de investigación didáctica recientes sobre razonamientos e ideas espontáneas de los alumnos. La separación existente entre las formas de



producir y aceptar conocimientos espontáneos y la epistemología científica, manifestada por los obstáculos y barreras conceptuales anteriormente señalados, permite suponer que existan multitud de ideas alternativas a las científicas, al explicar los diferentes fenómenos luminosos y modelos de visión "ingenuos". Diferentes trabajos evidencian, efectivamente, estas ideas: Guesne (1985), La Rosa et al. (1984), Feher E. y Rice K. (1992), Andersson y Karrquist (1983), Viennot, et al. (1997), Galili (1996), Galili et al. (1991), Goldberg y McDermott (1986, 1987), etc.

Los esquemas anteriores, realizados por alumnos de 3º de ESO durante el curso 1998/99, antes de recibir enseñanza en estos tópicos, muestran la existencia de estas barreras y la similitud con las ideas defendidas por los filósofos antiguos:

Del análisis anterior se desprende que el problema de **cómo vemos** es un problema de suficiente entidad para organizar la enseñanza de la luz y la visión, y que es necesario realizar una revisión cuidadosa de los conceptos implicados. El concepto de imagen óptica se revela como un concepto fundamental dentro del modelo de visión a construir. La potencia de ambas ideas se pondrá a prueba si con ellas se pueden formular, a modo de hipótesis, las leyes de la reflexión y de la refracción, y explicar las imágenes obtenidas en espejos o con los objetos sumergidos en el agua. Nos centraremos aquí en los conceptos básicos para fundamentar la construcción de un telescopio de Kepler, y dejaremos para otro momento el estudio de la estrategia de enseñanza de la luz y la visión.

## 2. Revisión de algunos conceptos implicados en la construcción de un telescopio de Kepler

Revisaremos a continuación los conceptos ópticos fundamentales (Martínez Torregrosa, Osuna y Verdú, 1999) necesarios para la comprensión de un telescopio de Kepler. En concreto: ¿cómo ve un ojo un objeto?, ¿cuál es el funcionamiento de una lente convergente cuando se recoge la imagen en una pantalla?, ¿cómo es el tamaño y la luminosidad de la imagen?, ¿cómo se ve esa imagen sin pantalla?, ¿cuál es funcionamiento de una lente al actuar como lupa?, ¿cómo acoplar dos lentes convergentes para construir un telescopio?

### 2.1 ¿Cómo ve un ojo un objeto?

Hemos considerado a los objetos como conjuntos de fuentes luminosas puntuales, ya sean fuentes primarias en las que la luz "nace" en cada punto del objeto, o bien fuentes secundarias en las que la luz sale de ellos al ser iluminados por otras fuentes. Para que un ojo vea un objeto:

1º Al ojo entra un haz de luz divergente procedente de cada punto del objeto que ve.

2º El objeto se ve desde varias posiciones de forma distinta.

Este modelo elemental de visión sugiere la necesidad de investigar el ojo por dentro, es decir, de conocer qué hace la luz cuando entra en el ojo para hacer posible la visión. Por tanto, si asimiláramos el ojo a un instrumento



óptico, la fisiología nos informa que estaría compuesto por una cámara oscura en donde se encuentra una lente y una pantalla.

## **2.2 ¿Cuál es el funcionamiento de una lente convergente cuando se localiza la imagen en una pantalla?**

Para formar la imagen en una pantalla debemos considerar:

- El objeto como un conjunto de puntos luminosos; desde cada punto del objeto se emite un haz completo de luz.
- El haz divergente de luz que entra en la lente emerge, después de atravesarla, convertido en un haz convergente (si el objeto está lo suficientemente alejado) por lo que existirá un punto en donde converja la luz.
- Si en el punto de convergencia de la luz colocamos una pantalla, el ojo podrá ver la imagen desde varias posiciones ya que la imagen se comporta como un objeto iluminado.

La imagen real así formada también se puede considerar como un conjunto de punto luminosos.

## **2.3 ¿Cómo es el tamaño y la luminosidad de la imagen?**

Del esquema de formación de la imagen en una pantalla se desprende que el tamaño de la lente limita el haz divergente de luz que, emitido por cada punto del objeto, entra en la lente y que es el que participa en la formación del punto imagen. Por tanto, si tapamos parte de la lente, la luminosidad del punto la imagen se verá reducida pero, al no afectar a su localización, no se afectará el tamaño de la imagen.

Para variar el tamaño de la imagen, para una misma posición del objeto, debemos variar la potencia de la lente. Una lente más potente tendrá más poder de convergencia y formará la imagen más cerca, pero de menor tamaño y, por tanto, más luminosa.

Por el contrario, con una lente menos potente se obtendrá una imagen más lejana, menos luminosa y más grande. Evaluar estos tres aspectos es lo que nos hará decidir por un tipo de lente u otro.



## 2.4 ¿Cómo se ve esa imagen sin pantalla?

Si en los esquemas anteriores se quita la pantalla, ¿se podrá ver la imagen? En el diagrama siguiente se muestra lo que el ojo ve en diferentes posiciones cuando se elimina la pantalla.

Desde las posiciones  $E_4$  y  $E_5$  el ojo no puede ver la imagen ya que no llega ningún haz divergente de luz procedente de cualquier punto del objeto.

El ojo de la posición  $E_2$  recibe un haz de luz divergente procedente de la base de la vela que, después de atravesar la lente, ha convergido en un punto posterior a la lente. Desde esta posición verá la imagen de la base de la vela, pero no verá la llama de la parte superior.

El ojo de la posición  $E_3$ , recibe un haz de luz divergente procedente de la llama de la vela, pero no de la base de la misma.

El ojo de la posición  $E_1$  recibe haces divergentes de luz procedentes de ambos extremos de la vela y, por tanto, de cada uno de los puntos intermedios. Desde esta posición es posible ver la imagen entera de la vela.

Pero ¿qué hay en cada punto del espacio donde antes, al situar la pantalla, se localizaba la imagen? Vemos en este esquema que allí solo existe concentración de los haces de luz, y sólo tiene sentido hablar de imagen óptica cuando existe un ojo observador situado en la posición adecuada.

En esta situación, es decir, cuando no existe pantalla y vemos la imagen mirando a través de la lente ¿qué ocurrirá al tapar parte de la lente? El diagrama siguiente aclara esta cuestión. Desde la posición  $E_1$ , cuando la parte superior de la lente esta tapada, sólo se puede ver la imagen de la parte superior de la vela.



### **2.5 ¿Cuál es funcionamiento de una lente al actuar como lupa?**

Cuando el objeto se sitúa más cerca del foco de la lente, la potencia de la lente, es decir, su poder de convergencia, ya no permite que el haz de luz converja en un punto después de atravesar la lente. Sin embargo, un ojo situado detrás de la lente puede ver una imagen de mayor tamaño que el objeto. El siguiente diagrama muestra esta situación.

El haz divergente de luz procedente del objeto que, después de atravesar la lente entra en el ojo, parece procedente del punto  $O'$ . Pero del punto  $O'$  no emana la luz de la imagen que se ve, por eso se le dice imagen virtual.

Lo importante de esta disposición, a efectos de la construcción de un telescopio, es que para cualquier posición del objeto entre el foco y la lente, el ojo ve una imagen aumentada.

### **2.6 ¿Cómo acoplar dos lentes convergentes para construir un telescopio?**

Del estudio anterior se puede idear una combinación de lentes que permita aumentar el tamaño de la imagen obtenida con lentes de un objeto lejano. Si una lente de poca potencia forma una imagen de mayor tamaño y si, en vez de verla en una pantalla, la miramos con una lupa situando el ojo en la dirección de propagación de la luz, habremos obtenido un telescopio. El



diagrama siguiente muestra esta combinación: El tamaño de la primera lente limita la cantidad de luz que entra y, por tanto la luminosidad de la imagen. Pero, como hemos visto anteriormente, también limita la cantidad de imagen que se ve (el campo).

### **3. Aspectos prácticos para la construcción de un telescopio en el ámbito escolar**

De los esquemas anteriores se deduce que para construir un telescopio de Kepler son necesarias dos lentes y dos tubos, acoplados de forma que permita un pequeño movimiento de uno en el otro para conseguir el enfoque.

La primera lente (el objetivo), de poca potencia (alrededor de 1 dioptría), para conseguir un gran tamaño de imagen, se puede obtener en ópticas comerciales. Una lente mineral de 65 mm de diámetro y 1 dioptría de potencia puede comprarse por unas 600 ptas. La segunda lente (el ocular), al actuar como lupa, conviene que tenga gran potencia para tener mayores aumentos. Se puede obtener una lente de unas 22 dioptrías extrayendo el objetivo de una cámara fotográfica. Si no se dispone de ninguna cámara fotográfica estropeada, se puede comprar una cámara desechable por menos de 1000 ptas.

El aumento de un telescopio de este tipo es de unos 20 aumentos y con él podemos apreciar los cráteres de la Luna, la forma de disco de los planetas, e incluso las fases de Venus. Sin embargo, la calidad de la imagen mejora sensiblemente colocando un diafragma (un círculo de cartulina negra con un orificio en el centro) delante del objetivo. Las lentes comerciales mencionadas no están corregidas de la aberración esférica y sólo permiten obtener imágenes nítidas para haces de luz estrechos. El inconveniente es que se reduce la luminosidad de la imagen y el tamaño del campo visible.

Conseguir un telescopio de mayor aumento supone montar objetivos de menor potencia, pero si con un objetivo de 1 dt necesitamos un tubo de 1 m, para un objetivo de 0'5 dt necesitaríamos un tubo de 2 m con lo que aumentan sobremanera las dificultades para su manejo a la hora de enfocar.



## Bibliografía

- ANDERSSON, B. y KARRQUIST, C., "How Swedish aged 12-15 years, understand light and its properties", *Eur. J. Sci. Educ.*, 1983, Vol.5, págs. 387-402.
- BOORSTIN D.J., *Los descubridores. La naturaleza*. Barcelona, 1994, Ed. RBA.
- FEHER, E. y RICE, K., "Children's Conceptions of Color", *Journal of Research in Science Teaching*, 1992, vol. 29 (5), págs. 505-520.
- GALILI I.; GOLDBERG, F. y BENDALL, S., "Some reflections on plane mirrors and images", *The Physics Teacher*, October, 1991, págs. 471- 477.
- GALILI, I., "Student's conceptual change in geometrical optics", *Int. J. Sci. Educ.*, 1996, nº 18, 7, págs. 847-868.
- GOLDBERG, F.; BENDALL S. y GALILI I., "Lens, Holes, Screens and eye", *The Physics Teacher*, abril 1991, págs. 221-224.
- GOLDBERG, F. y MCDERMOTT, L., "Student difficulties in understanding image formation by plane mirror", *The Physics Teacher*, November 1986, págs. 472-480.
- GOLDBERG, F. y MCDERMOTT, L., "An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror", *Am. J. Phys.*, 1987, nº 55 (2), págs. 108-119.
- LA ROSA, C.; MAYER, M.; PATRIZI, P. y VICENTINI-MISSONI, M., "Commonsense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light", *Eur. J. Sci. Educ.*, 1984, nº 6 (4) , págs. 387-397.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J., DOMENECH, J.L. y VERDÚ CARBONELL, R., "Del derribo de ideas al levantamiento de puentes: la epistemología de la ciencia como criterio organizador de la enseñanza en las ciencias física y química", *Curriculum*, 1993, Nº 7, 67-89.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; OSUNA GARCÍA, L. y VERDÚ CARBONELL, R., "La luz y la visión en la enseñanza secundaria obligatoria", *Aspectos didácticos de Física y Química (Física)*, 8, ICE Universidad de Zaragoza, 1999.
- PRAT, R., *La óptica*, ed. Martínez Roca, Barcelona ,1969.
- SELLÉS, M. y SOLÍS, C., *Revolución científica*, ed. Síntesis, Madrid, 1991.
- TARÁSOV L. y TARÁSOVA, A., *Charlas sobre la refracción de la luz*, Moscu, ed. Mir, 1985.
- VIENNOT, L. y CHAUVET, F., "Two dimensions to characterize research-based teaching strategies: examples in elementary optics", *Int. J. Sci. Educ.*, 1997, nº 10, págs. 1159-1168.