

Propuesta de actividades y experiencias para el estudio de la óptica geométrica en 2º de Bachillerato

Proposal of activities and experiences for the study of geometrical optics in the 2nd year of Bachillerato

Pedro J. Gea¹, Jose Antonio García García²

¹ Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, Granada, España

² Departamento de Óptica, Universidad de Granada, Granada, España

pedrog@ugr.es, jgarcia@ugr.es

Resumen

La actitud de los estudiantes hacia la ciencia está condicionada fundamentalmente por la metodología del docente. La preparación de los estudiantes para los exámenes específicos de selectividad en los cursos de 2º de bachillerato provoca una abundancia de metodologías tradicionales en dicho curso académico. Este hecho hace que el aprendizaje no sea significativo y que exista especial dificultad por parte del estudiantado en relacionar la teoría con lo cotidiano. En el caso de la óptica geométrica se encuentra que los estudiantes presentan especiales dificultades en la comprensión de aspectos tales como el proceso de visión, la formación de imágenes o la propagación de la luz. En este trabajo se presentan un conjunto de actividades innovadoras para trabajar el bloque de óptica geométrica de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato. Estas actividades buscan eliminar las carencias de los estudiantes en óptica geométrica, buscando un aprendizaje significativo, a la vez que contribuyen a la preparación para las pruebas de acceso a la universidad. Las diferentes actividades se sustentan en estrategias didácticas tales como el aprendizaje basado en problemas (ABP) y la enseñanza asistida por ordenador y otras tecnologías de la información y comunicación (TIC).

Palabras Clave

Óptica geométrica, refracción, reflexión, lente, innovación

Abstract

Students' attitude towards science is mainly conditioned by the teacher's methodology. The preparation of the students for the entrance exams to the university in the 2nd year of Bachillerato makes teachers use traditional methodologies. Thus, students' learning is not meaningful and there are special difficulties in relating theoretical

concepts and equations with the day-by-day experience. In the case of geometrical optics, the students have special problems in understanding aspects such as the vision process, the formation of images or the propagation of light. In this work, a set of innovative activities are presented to study the geometrical optics of the Physics subject of 2nd Bachillerato. These activities aim to remove the students' lack of understanding in key concepts of geometrical optics, attempting to achieve meaningful learning, at the same time that they contribute to prepare students to the entrance exams to the University. They are based on different teaching strategies such as problem-based learning (PBL) and computer-assisted teaching and other information and communication technologies (ICT)

KeyWords

Geometrical optics, refraction, reflection, lens, innovation

1. Introducción

1.1. Justificación teórica

La actitud hacia la ciencia se puede definir como la disposición e inclinación, positiva o negativa, por aprender ciencia (Koballa y Glynn, 2007). Los estudios empíricos que investigan la actitud de los estudiantes hacia las ciencias son abundantes (Marbâ-Tallada y Márquez Bargalló, 2010; Robles et al., 2015; Solbes et al., 2007) y muestran la visión negativa que tienen, resultado que se ve apoyado por estudios más recientes (García García y Perales Palacios, 2021). La inclinación por aprender ciencia está condicionada por multitud de factores tales como la actitud de los padres, la procedencia del estudiante, la relación de los contenidos con la vida real y la actitud del profesor (Vilches y Furió, 1999). Sin embargo, el factor más determinante en lo que respecta a la actitud de los estudiantes hacia la ciencia es la metodología del docente, encontrando una correlación positiva entre las estrategias didácticas innovadoras y las actitudes positivas (Aguilera Morales y Perales Palacios, 2017). Dentro de las asignaturas científicas, la Física y la Química se lleva la peor parte, existiendo una tendencia común por parte del estudiantado a considerar que dicha asignatura contiene pocas prácticas, muchas fórmulas y poca relación con la vida cotidiana. A pesar de esto, las metodologías tradicionales siguen imponiéndose en el aula (Solbes et al., 2007).

En lo que respecta al núcleo principal de este trabajo, la óptica geométrica, los estudios muestran que los estudiantes presentan especiales dificultades en la comprensión de aspectos tales como el proceso de visión, la formación de imágenes o la propagación de la luz (Goldberg y McDermott, 1986; Goldberg y McDermott, 1987; Osuna García et al., 2007; Pesa et al., 1993; Salinas y Sandoval, 1999). Creencias como la posibilidad de ver los objetos sin que nos llegue luz de ellos, que la imagen de un objeto cambia en función del observador o que el rayo es una entidad física propia parecen estar extendidas entre muchos de los estudiantes. El hecho de que los estudiantes tengan preconcepciones del temario antes de haberlo estudiado debido a sus experiencias personales puede jugar un papel importante en estas convicciones erróneas (Gil Llinás, 2003).

Debido a todos estos factores, surge la necesidad de presentar un conjunto de actividades alternativas que tengan un enfoque constructivista donde el estudiante participe en su aprendizaje de forma activa (Perales Palacios, 1998) a la vez que traten de eliminar las carencias de los estudiantes en óptica geométrica y contribuyan a la

preparación de las pruebas de acceso a la universidad. En este trabajo se presentan una serie de actividades con dichas características, enfocadas en el bloque de óptica geométrica de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato, recogido en la Orden de 15 de enero de 2021. Con el objetivo de conseguir un aprendizaje activo y experiencial, en determinadas actividades se usan estrategias didácticas como el aprendizaje basado en problemas (ABP), el aprendizaje cooperativo (AC) y la enseñanza asistida por ordenador y otras tecnologías de la información y comunicación (TIC).

1.2. Planteamiento del trabajo

En la literatura pueden encontrarse numerosas propuestas para el aprendizaje de la óptica geométrica (Ansine Chirino et al., 2015; Fourty et al., 2017; García García et al., 2015; Herrera Pérez, 2012; Salinas y Sandoval, 1999) usando una gran variedad de metodologías. El enfoque que se sigue en estas propuestas es muy amplio, tratando desde los temas más simples a los más complejos correspondientes a cursos universitarios, sin centrarse en ningún curso académico en particular. Por tanto, existe una carencia de propuestas orientadas a cursos académicos específicos.

La propuesta de actividades que se hace en este trabajo está enfocada al bloque de óptica geométrica de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato, centrándose únicamente en el temario de dicha asignatura y aportando así una propuesta novedosa de aprendizaje para un determinado curso. Las actividades expuestas tienen un corte alternativo y hacen uso de algunas estrategias didácticas como la enseñanza asistida por ordenador con el objetivo de que los estudiantes construyan su propio conocimiento, guiados por el docente.

2. Marco teórico

2.1. Problemática en la enseñanza de las ciencias

La ciencia y la tecnología han influido de manera drástica al desarrollo de la sociedad a lo largo del tiempo. En la sociedad avanzada y cambiante en la que nos encontramos, resultan necesarias para la vida de cualquier persona ciertas actitudes y habilidades propias de la actividad científica. Entre estas habilidades destacan la identificación y resolución de problemas, la formulación de preguntas investigables, la formulación de hipótesis y predicciones, la recolección de datos e interpretación de resultados, el reemplazo del conocimiento absoluto por el pensamiento crítico, el trabajo en equipo y la creatividad. En resumen, el aprendizaje de ciertas aptitudes propias de la ciencia resultan esenciales para enfrentar la realidad cambiante actual.

Esto es conocido y de hecho, uno de los objetivos de la educación científica en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) es la formación de ciudadanos que sepan desenvolverse en un mundo científico-tecnológico. Sin embargo, hay una tendencia del estudiantado a valorar negativamente la ciencia, haciendo que este objetivo sea pobremente alcanzado. Los estudios que investigan la visión negativa del estudiantado hacia las ciencias son numerosos (Marbà-Tallada y Márquez Bargalló, 2010; Robles et al., 2015; Solbes et al., 2007). En el trabajo publicado por Marbà-Tallada y Márquez Bargalló (2010), en el que se encuesta a un total de 1064 estudiantes con edades comprendidas entre 11 y 17 años, se obtiene que los ítems de la encuesta mejor valorados son aquellos relacionados con la relevancia de la ciencia en el aula y la vida cotidiana. Concretamente, el ítem mejor valorado es: "Pienso que todos deberíamos aprender ciencias en la escuela". Por el contrario, los ítems menos valorados son los

relacionados con el desempeño de la ciencia, siendo el peor valorado el siguiente: “Me gustaría tener el máximo de horas de clases de ciencias”. Estos resultados muestran que a pesar de que los estudiantes valoran la importancia de la actividad científica, la gran mayoría de ellos prefiere no estudiar ciencias. Por otro lado, también se concluye que el interés y actitud del estudiantado hacia las ciencias aumenta con la escolarización, resultado que se ve apoyado por otros estudios (George, 2000).

Otro aspecto a tener en cuenta es que aunque el estudiantado no se vea atraído por las ciencias, no piensa que sean difíciles, principalmente en los cursos iniciales de la ESO (Marbà-Tallada y Márquez Bargalló, 2010; Robles et al., 2015). A medida que aumenta la escolarización también aumenta la cantidad de estudiantes que consideran las ciencias difíciles.

Por otro lado, hay diversas publicaciones que tratan los posibles factores (tanto dentro como fuera del aula) que pueden afectar a la visión que los estudiantes tienen sobre las ciencias (Vilches y Furió, 1999). Entre los factores externos al aula destacan algunos como el apoyo y actitud de los padres o la procedencia del estudiante, mientras que entre los factores internos al aula encontramos el ambiente dentro de la misma, la actitud y metodología del profesor, la relación de los contenidos con la vida real, etc. Si bien no es el único factor que interviene, el docente juega un papel fundamental. A pesar de esto, la docencia habitual se sigue basando en aspectos conceptuales y teóricos donde predominan las clases magistrales y el estudiante juega un papel secundario, dejando de lado otros aspectos que podrían aumentar la motivación del estudiantado. Un reflejo de esto se puede encontrar en los libros de texto, que en la actualidad siguen presentando una estructura principalmente teórica con multitud de ejercicios sin apostar por actividades de corte más innovador (Solbes et al., 2007).

La actitud de rechazo por parte del profesorado al empleo de actividades innovadoras se debe a dos razones principales (Solbes et al., 2007): un currículo educativo amplio a impartir en un número reducido de horas lectivas y una falta de formación en didáctica de las ciencias tanto a nivel inicial como permanente. La docencia tradicional se ve respaldada por el carácter conservador de la evaluación en las asignaturas de ciencias. Dicha evaluación se sigue centrando en aspectos teóricos y/o resultados numéricos y no tiene en cuenta aspectos tales como el razonamiento crítico, el pensamiento creativo a la hora de resolver problemas y la aplicación de la ciencia para entender situaciones cotidianas.

Si bien hemos comentado la valoración negativa de las ciencias en general, la Física y la Química se lleva la peor parte, siendo una de las asignaturas peor valoradas. Así, en el trabajo de Solbes et al. (2007) se encuentra que un 70.8 % de los estudiantes que participaron en el estudio (estudiantes de 3º y 4º de ESO) consideran la asignatura de Física y Química difícil y aburrida, resultado que se ve apoyado por estudios más recientes (García García y Perales Palacios, 2021). Un 85.5 % consideran que el desinterés hacia la asignatura es debido a la presencia de pocas prácticas y muchas fórmulas, lo que nos da idea de como habría que enfocar las clases para mejorar el interés. Por último, también hay un porcentaje de estudiantes (12.5 %) que considera que los contenidos de la asignatura no sirven, lo que indica que habría que hacer hincapié sobre la aplicación de los conceptos a la vida real.

Otro indicador de posibles mejoras en la docencia es el conjunto de temas que, según los estudiantes, despertarían interés hacia la asignatura. Destaca el 54 % de estudiantes que consideran que las prácticas de laboratorio mejorarían su interés así

como el 16.7 % que se verían incentivados por aplicaciones de la asignatura en la vida real.

Es de destacar también las frases registradas en el estudio de Solbes et al. (2007) a partir de entrevistas con el estudiantado. Incluyo aquí las que considero más relevantes y reveladoras: “aprendí el método científico pero nunca entré en el laboratorio para aplicarlo”, “menos ejercicios, menos teoría o por lo menos que no sea tan aburrido”, “quizá si hubiera trabajado algún aspecto que me afecte en mi vida” (p.15).

Dada la actitud negativa hacia las ciencias y la falta de actuación en la docencia para remediar este hecho, existen muchos trabajos en la literatura que plantean e investigan nuevas metodologías de enseñanza (Arteaga Valdés et al., 2016; García Salcedo y Sanchez, 2009; López Martínez, 2012). Algunas de las pautas que recogen Arteaga Valdés et al. (2016) para la enseñanza de la ciencia en la sociedad actual son las siguientes:

- Estimular la creatividad del estudiantado y concederle más protagonismo en el proceso de aprendizaje. El profesor ha de ser un apoyo y un guía en la construcción de nuevos conocimientos. Son los propios estudiantes los que han de realizar una búsqueda activa del conocimiento, investigando, planteándose preguntas, proponiendo soluciones alternativas, cuestionando todo aquello que aprenden, etc.

- Plantear actividades que permitan llevar a cabo análisis y síntesis, que favorezcan y estimulen el razonamiento lógico y que faciliten la asimilación de nuevos conceptos. De nuevo, el docente solo guiará al estudiante en la resolución de las actividades y no será el protagonista de las mismas.

- Proponer tareas (tanto si se realizan en clase o no) que permitan la búsqueda libre de información, el desarrollo de habilidades y de la personalidad mientras amplían el conocimiento del estudiantado e incentivan su curiosidad por ciertos temas concretos.

- Desarrollar actividades de forma colectiva. Esto favorece el intercambio de información entre los miembros del grupo y las interacciones entre ellos, haciendo que aprendan unos de otros y contribuyendo así al desarrollo individual de los estudiantes. El trabajo cooperativo también favorece un ambiente de motivación y fomenta el autoaprendizaje puesto que cada miembro debe contribuir al éxito del grupo. Por último, ayuda a mejorar la empatía y la asertividad.

- Relacionar la materia de estudio con el entorno más cercano de los estudiantes (actividades que realizan a diario en el hogar, aspectos populares en un determinado momento, etc.).

2.2. Problema en el caso particular de la óptica geométrica

El proceso de aprendizaje a lo largo de la etapa educativa así como las experiencias de la vida cotidiana dan lugar a que los estudiantes tengan una preconcepción de todo aquello que han de aprender (Gil Llinás, 2003). Esto es una característica común a los seres humanos, ya que todos construimos conclusiones y teorías en base a nuestras observaciones. Por ejemplo, un niño sabe que si deja caer unas llaves desde una altura determinada sobre una mesa se producirá un ruido y si la altura de las llaves es mayor, el ruido también lo será. Es capaz de saber esto en base a sus observaciones, sin tener conocimiento del concepto de energía cinética y potencial. Por la misma razón resulta tedioso comprender fenómenos físicos con los que no

estamos familiarizados, como pueden ser los que describen la física cuántica o la relatividad especial. Estas preconcepciones del estudiante juegan un papel fundamental en el aprendizaje, principalmente cuando son erróneas, ya que el docente tendrá que intentar eliminarlas.

La formación de estas ideas previas se debe a diversos factores, de entre los cuales el más importante es el relacionado con las experiencias y observaciones de la vida cotidiana. De esta forma, sus preconcepciones se basan en aquello que pueden percibir, dando lugar a que no se conciba aquello que no se percibe.

En este contexto y dentro del temario de Física de 2º de Bachillerato, recogido en la Orden de 15 de enero de 2021, el bloque de óptica geométrica es de los que más relacionado está con aspectos y fenómenos de la vida cotidiana: refracción de la luz en las piscinas, espejismos, reflexión de la luz en los espejos, instrumentos ópticos como lupas y gafas, etc. Este hecho puede ser un arma de doble filo a la hora de explicar el temario, ya que por un lado el docente se puede ayudar de tales ejemplos para aumentar la motivación pero las preconcepciones de los estudiantes también les pueden causar confusiones.

Otro aspecto destacable que interviene en la formación de ideas previas es la intromisión entre el lenguaje cotidiano y el académico. Muchos conceptos se malinterpretan debido a esta razón. Por ejemplo, se dice: “Peso 75 Kg”, confundiendo así los conceptos de peso y masa, o “Me reflejo en el espejo”, cuando es la luz la que se refleja (Gil Llinás, 2003).

En la literatura pueden encontrarse numerosos estudios sobre las concepciones y dificultades que los estudiantes tienen sobre la óptica geométrica (Goldberg, y McDermott, 1986; Goldberg y McDermott, 1987; Osuna García et al., 2007; Pesa et al., 1993). Aquí se expondrán algunos de los resultados de estas investigaciones.

En el trabajo de Osuna García et al. (2007) se hace un estudio sobre los principales obstáculos de los estudiantes en el proceso de aprendizaje de distintos aspectos de la óptica, tomando como muestra de estudio estudiantes de 2º ESO, quienes aún no han visto nada de óptica geométrica, y de 2º de Bachillerato, justo después de haber terminado el temario. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- En relación al proceso de visión, un 90 % de los estudiantes de 2º ESO (antes de haber visto el temario) cree que los objetos iluminados no emiten luz. Por tanto, sostienen que el proceso de visión no se produce por la entrada de luz en el ojo. Esta creencia mejora en los estudiantes de 2º de Bachillerato tras haber visto el temario correspondiente, pero sigue habiendo un 39 % de estudiantes que sostienen que somos capaces de ver objetos sin que nos llegue luz de ellos. Este porcentaje aumenta hasta el 53 % de estudiantes que piensan que un objeto iluminado no emite luz.

- En cuanto a disponer de un modelo de propagación de la luz, los datos empeoran. Un 90 % de los estudiantes de 2º ESO y un 56 % de estudiantes de 2º de Bachillerato no consideran las fuentes extensas de luz como numerosas fuentes puntuales, aspecto fundamental en el modelo de óptica geométrica. Este dato es revelador y muestra que más de la mitad de estudiantes, después de haber visto el temario, no comprenden una de las ideas fundamentales del modelo estudiado. Asimismo, un porcentaje bastante elevado de estudiantes consideran que la propia luz es visible (83 % en 2º ESO y 59 % en 2º de Bachillerato).

• Por último, en lo que respecta a la comprensión de formación de imágenes, un 96 % de estudiantes de 2º ESO consideran que la imagen se traslada “ya hecha” desde los objetos o que los rayos son portadores de los puntos de la imagen, creencia que solo disminuye hasta el 83 % en Bachillerato. En la Figura 1 se muestran algunos de los esquemas que los estudiantes tienen en el proceso de visión. Por otro lado, la totalidad de estudiantes de 2º ESO y el 75 % de 2º de Bachillerato no consideran al ojo como un instrumento fundamental en el proceso de formación de imágenes.

Otros de los aspectos que más confusión genera es el proceso de formación de imágenes a través de dispositivos ópticos sencillos, incluso cuando se domina la realización de marcha de rayos en esos dispositivos (Salinas y Sandoval, 1999).

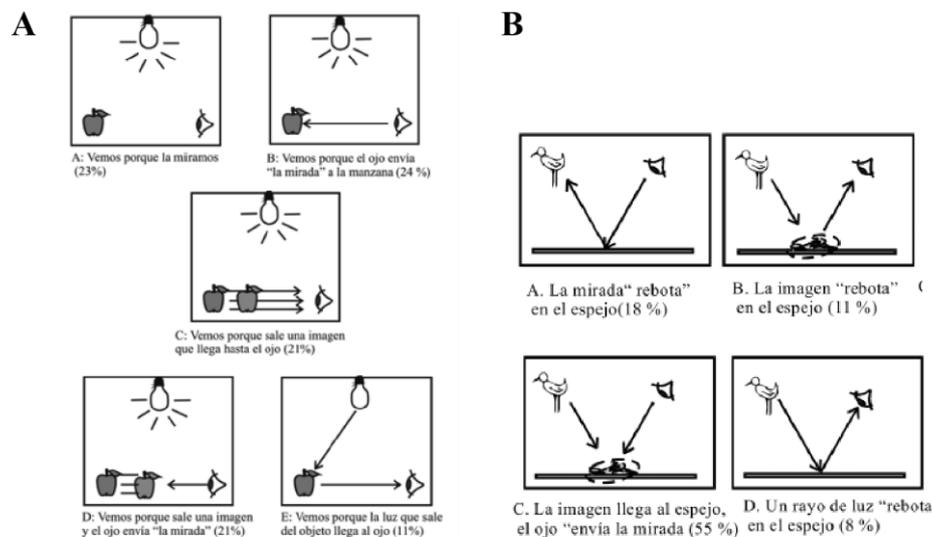


Figura 1: Esquemas del proceso de visión presentes en los estudiantes de 2º ESO. Adaptado de Osuna García et al., 2007.

En el trabajo presentado por Goldberg y McDermott (1986) se observó una falta de comprensión en la formación de imágenes a través de un dispositivo óptico con el que estamos muy familiarizados y que a priori podría considerarse simple, el espejo plano. Muchos de los estudiantes pensaban que la imagen de un objeto cambiaría de posición en función del observador. Asimismo, se observó una gran dificultad por parte de los estudiantes para estimar en qué rango de posiciones debería estar el observador para ser capaz de ver una imagen (Figura 2). Los estudiantes no sabían resolver la cuestión ayudándose de diagramas de rayos a pesar de que estos se construían simplemente con la ley de la reflexión. Esto muestra que, aunque se domine la teoría, resulta difícil aplicarla en situaciones reales.

Estos resultados se ven apoyados por la investigación de Pesa et al. (1993) donde se llega a una serie de confusiones generalizadas sobre: la posición absoluta de la imagen y su movimiento relativo al desplazarse el observador, las imágenes virtuales y el rango de posiciones que permiten ver la imagen de un objeto.

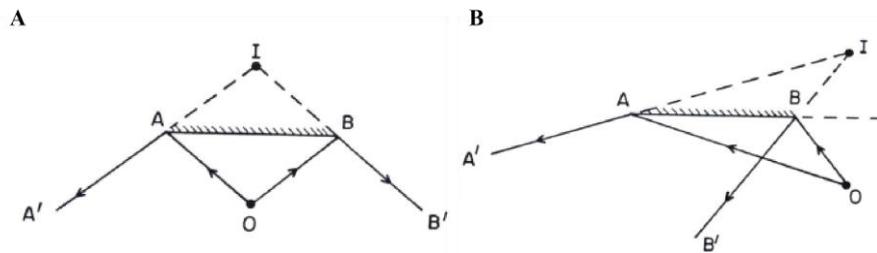


Figura 2: Diagrama de rayos para determinar el rango de posiciones que permitirían a un observador ver la imagen I de un objeto O. Adaptado de Goldberg y McDermott, 1986.

Pesa et al. (1993) también ponen de manifiesto las principales dificultades que los estudiantes presentan al estudiar el sistema formado por un objeto, una lente convergente y una pantalla, a menudo recurrente en los problemas a nivel de 2º de Bachillerato. Entre ellas destaco las siguientes:

- Las condiciones necesarias para la formación de una imagen real.
- El objeto luminoso como conjunto de emisores radiando en todas las direcciones.
- La existencia de la imagen independientemente de la presencia del ojo o de la pantalla.
- La función de la pantalla.

Un último aspecto a tener en cuenta, debido a su importancia en el temario de la óptica geométrica, es el concepto de rayo. Muchos de los estudiantes entienden el concepto de rayo como una entidad física que forma una imagen en lugar de como una representación geométrica que describe el comportamiento de la luz en determinadas condiciones (Goldberg y McDermott, 1987). Así, muchos estudiantes parecen no entender completamente el significado de los tres rayos que usualmente se emplean en las marchas de rayos. En lugar de entenderlos como los tres rayos idóneos debido a sus simples reglas para la traza de rayos, piensan que dichos rayos son necesarios para la formación de la imagen. En consecuencia, si alguno de estos rayos se bloquease, parte de la imagen desaparecería.

Estas consideraciones son a menudo tenidas en cuenta y puede encontrarse en la bibliografía un amplio repertorio de propuestas de aprendizaje para mejorar la enseñanza de la óptica geométrica (Ansine Chirino et al., 2015; Fourty et al., 2017; García García et al., 2015; Herrera Pérez, 2012; Salinas y Sandoval, 1999).

2.3. Métodos y técnicas de enseñanza-aprendizaje

Aprendizaje basado en problemas. Tal y como recogen Escribano y Del Valle (2008), citando a Barrows (1996), el aprendizaje basado en problemas (ABP) se puede definir como “un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos”.

Dado que estamos familiarizados con los fenómenos ópticos en la vida cotidiana, introducir una actividad a partir de alguno de estos fenómenos junto con el planteamiento de un problema asociado al mismo puede incentivar la motivación del estudiantado así como conseguir un aprendizaje más significativo. Además, ya que son

los estudiantes los que han de resolver el problema por ellos mismos, se promueve un aprendizaje activo.

Las características fundamentales del ABP descritas por Barrows y recogidas en la obra de Escribano y Del Valle (2008) son las siguientes:

- El aprendizaje está centrado en el estudiante.
- El aprendizaje se produce en pequeños grupos.
- Los profesores son facilitadores o guías de este proceso.
- Los problemas son el foco de organización y estímulo para el aprendizaje.
- Los problemas son un vehículo para el desarrollo de habilidades de resolución de problemas.
- La nueva información se adquiere a través del aprendizaje autodirigido.

La idea subyacente a estas características es la construcción de nuevo conocimiento sobre conceptos previos, de modo que exista una autorregulación del aprendizaje. Se garantiza así tanto la enseñanza de nuevos conceptos como el desarrollo de habilidades ante el aprendizaje. Entre otras ventajas que presenta el ABP, destacan el aumento de motivación para aprender y las habilidades de comunicación y de trabajo en equipo (Escribano y Del Valle, 2008).

Recursos TIC. La importancia de las nuevas tecnologías en el ámbito científico es incuestionable. En el terreno de la física, con el desarrollo de ordenadores más potentes se ha podido acceder a cálculos que hace unos años eran imposibles y se han podido realizar simulaciones que nos han permitido conocer mejor el comportamiento de la naturaleza. Otras disciplinas científicas como la medicina hacen uso de los ordenadores para análisis clínicos y para realizar cirugías. El trabajo científico, por tanto, va acompañado de los ordenadores y las nuevas tecnologías. Sin embargo, este es un aspecto que a menudo se pasa por alto en cursos avanzados como 2º de Bachillerato. El uso de las nuevas tecnologías en este nivel educativo para la enseñanza de la física podría implementarse de diversas maneras (usando hojas de cálculo para analizar datos experimentales, realizando simulaciones, etc.), para proporcionar así una visión más realista de la ciencia al estudiantado.

En la literatura pueden encontrarse diversas definiciones de las tecnológicas de información y comunicación (TIC), y a menudo muy distintas entre ellas. Castells et al. (1986) definen las TIC como “una serie de aplicaciones de descubrimiento científico cuyo núcleo central consiste en una capacidad cada vez mayor de tratamiento de la información”.

Castro et al., (2007) recogen, citando a otros autores, las siguientes características de las TIC:

- Inmaterialidad. Las TIC se basan en la creación, procesamiento y/o comunicación de la información, lo que les proporciona un carácter inmaterial.
- Interactividad. El uso de las TIC permite un intercambio de información entre los estudiantes y el ordenador adaptado a las características de los mismos.

- Instantaneidad. El intercambio de información se realiza de manera inmediata.
- Innovación. El uso de las TIC proporciona un carácter innovador que incrementa la motivación del estudiantado.
- Digitalización de la imagen y sonido. Las TIC presentan elevada calidad de imagen y sonido, lo que facilita su manipulación.
- Automatización e interconexión. Hace referencia a que las TIC pueden funcionar independientemente y la combinación entre dos tecnologías permite ampliar tanto sus posibilidades como su alcance.
- Diversidad. Las TIC proporcionan una gran variedad de posibilidades (realización de simulaciones, tratamiento de datos, búsqueda de información, transmisión de conocimiento, etc.).

El uso adecuado de las tecnologías de la información presenta numerosas ventajas. Tal y como recogen Castro et al. (2007), se promueve el trabajo en equipo, la interdisciplinariedad, la alfabetización digital, la creatividad y el desarrollo de habilidades de síntesis e interpretación de información. Asimismo, con el uso de las TIC se mantiene la motivación en los estudiantes y se incentiva el desarrollo de la iniciativa y el carácter crítico.

Por el contrario, un mal uso puede dar lugar a pérdida tiempo, distracciones y aprendizajes incompletos y superficiales (Castro et al., 2007), por lo que el docente ha de ser el encargado de garantizar una correcta utilización.

A modo de resumen, los estudios acerca de la actitud del estudiantado hacia las ciencias nos revelan la visión negativa que generalmente se tiene hacia las asignaturas científicas, siendo la Física y la Química la que se lleva la peor parte (García García y Perales Palacios, 2021; Solbes et al., 2007). Esta actitud negativa parece aumentar con la escolarización. El papel que juega el docente para cambiar esta realidad, aunque no es el único factor que interviene, es fundamental (Vilches y Furió, 1999). El trabajo de Solbes et al. (2007) revela un conjunto de temas que podría mejorar, según los propios estudiantes, el interés hacia la asignatura. Entre estos temas destacan las prácticas de laboratorio y las aplicaciones de la asignatura en la vida real. Este hecho se ve apoyado por el trabajo de Arteaga Valdés et al. (2016) en el que se señala que la concesión de más protagonismo al estudiantado en el proceso de aprendizaje es una pauta fundamental para la enseñanza de la ciencia en el nuevo milenio.

En el caso particular de la óptica geométrica, los estudios revelan ciertas carencias relacionadas con conceptos básicos del temario. Existen dificultades para comprender el proceso de visión, habiendo un porcentaje elevado de estudiantes de 2º de Bachillerato que sostienen que somos capaces de ver objetos sin que nos llegue luz de ellos y que los objetos iluminados no emiten luz (Osuna García et al., 2007). Otro aspecto que genera mucha confusión es la generación de imágenes a través de dispositivos ópticos sencillos, tales como el espejo plano, incluso cuando se domina la marcha de rayos. El problema reside en la dificultad que los estudiantes presentan a la hora de aplicar la teoría a situaciones reales. Dos últimos aspectos que parecen presentar especial dificultad es la consideración de fuentes extensas de luz como infinitas fuentes

puntuales y el uso del concepto de rayo como representación de la luz bajo determinadas condiciones.

Estos resultados nos dan idea de como han de estar enfocadas las actividades que se planteen. En primer lugar, hay que buscar que tengan cierto carácter experimental y que sean cercanas a la vida cotidiana y al entorno más próximo al estudiante. Las actividades también deberán estar enfocadas en concederle protagonismo al estudiante y en eliminar las carencias que los estudiantes tienen en ciertos aspectos tales como el proceso de visión. Estas ideas en conexión con las ventajas que presentan ciertas técnicas de enseñanza como el aprendizaje basado en problemas y el uso de las tecnologías de información y comunicación proporcionan la base teórica sobre las que se sustentan las actividades planteadas en el presente trabajo.

3. Objetivos

Los objetivos a alcanzar con este artículo son los siguientes:

- Diseñar un conjunto de actividades de enfoque innovador para trabajar el bloque de óptica geométrica de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato.
- Transmitir mediante las actividades planteadas la importancia de las simulaciones en el ámbito científico y, en particular, de la física.
- Presentar experiencias prácticas que se puedan llevar a cabo con material sencillo, sin necesidad de instrumental específico de laboratorio.
- Acercar la óptica geométrica al entorno más próximo al estudiante y eliminar posibles preconcepciones erróneas sobre el temario.
- Proporcionar un enfoque del temario que sea ameno y divertido a la vez que trabaje aspectos clave para el buen desempeño de los estudiantes en selectividad.

4. Propuesta de actividades

La propuesta que se realiza a continuación está planteada para que se puedan implementar en el aula cualquiera de las actividades sin necesidad de haber realizado las demás, ya que no hay interconexión entre las mismas. Las actividades abordan distintos conceptos del bloque de óptica geométrica, descrito en la Orden de 15 de enero de 2021, de tal forma que se trabaje la gran mayoría del temario. Así, alguien que lea este trabajo podrá realizar en sus clases aquellas actividades que vea más convenientes y mejor se adapten a sus necesidades.

4.1. Actividad 1. El proceso de visión.

Introducción. El proceso de visión de los objetos es uno de los aspectos básicos de la óptica que habitualmente queda descuidado en los niveles de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato. Es por esta razón que muchos estudiantes llegan a 2º de Bachillerato con creencias erróneas acerca de este proceso (Osuna García et al., 2007). Con el objetivo de mejorar esta tendencia, se plantea esta actividad para que los estudiantes entiendan qué elementos son necesarios para ver y adopten un modelo de visión de acuerdo con la realidad.

En esta actividad se plantean experiencias y/o cuestiones para que los estudiantes reflexionen de forma individual acerca del proceso de visión y

posteriormente se abra un debate en el que cada uno podrá expresar sus ideas y conclusiones. El docente tendrá un papel secundario de forma que los estudiantes se involucren en su propio proceso de aprendizaje, reflexionando sobre lo que están haciendo, alcanzando así un aprendizaje activo.

La actividad se realizará de forma individual en la etapa de reflexión y de forma grupal en el periodo de debate. La metodología a emplear será el aprendizaje basado en problemas, partiendo de la pregunta “¿Qué necesitamos para ver?” de forma que dicho problema sea resuelto una vez que se ha completado la actividad.

Materiales. Puntero láser y bolsa de tela negra.

Temporalización. La actividad está planteada para realizarse como introducción al inicio del temario. Su duración es de media hora.

Desarrollo. La actividad se iniciará con la siguiente pregunta: ¿Qué necesitamos para ver? Una vez se haya reflexionado sobre esta pregunta, los estudiantes han de situar un objeto cualquiera (un lápiz, por ejemplo) dentro de la bolsa negra y colocar la apertura de la bolsa alrededor sus ojos de forma que no entre luz del exterior. A continuación, alejarán ligeramente la bolsa permitiendo que la luz entre dentro de la misma. Los estudiantes deberán explicar qué se observa en ambos casos y en base a esto, construir un modelo que permita explicar estas observaciones. En este punto, se abrirá un pequeño debate grupal en el que los estudiantes compartirán sus propias ideas y conjuntamente, con la guía del profesor, se concluirá que para ver un objeto se necesita una fuente de luz de manera que el objeto refleja dicha luz y llega a nuestros ojos originando una señal que nuestro cerebro interpreta.

Tras el debate y para ver si se han comprendido los conceptos básicos se lanzan las siguientes cuestiones: ¿Por qué no vemos en una habitación con las ventanas cerradas y la luz apagada? ¿Podemos ver los objetos que tenemos detrás de nosotros?

Por último, el profesor tomará el puntero láser y apuntando hacia un determinado punto del aula se lanzan las siguientes preguntas: ¿Dónde incidirá la luz del láser? ¿Viajará la luz en línea recta? ¿Podremos ver la trayectoria que sigue la luz? Los estudiantes reflexionan sobre estas preguntas y a continuación se enciende el puntero láser (Figura 3A), planteando las siguientes cuestiones: ¿Por qué solo podemos ver el punto del láser en la pared? ¿Qué se necesita para ver la trayectoria completa de la luz? ¿Bajo qué condiciones viaja la luz en línea recta? Se abrirá un nuevo debate en el que guiados por el profesor los estudiantes concluirán que lo que vemos es la interacción de la luz con los objetos. De esta forma, para ver la trayectoria del láser se necesitan pequeñas partículas en el aire como son las generadas al sacudir el borrador de la pizarra (Figura 3B). Además, el profesor presentará el principio de Fermat que conduce a que la trayectoria de la luz es rectilínea en el caso de que se propague por medios homogéneos e isótropos, como es el caso de la experiencia realizada.

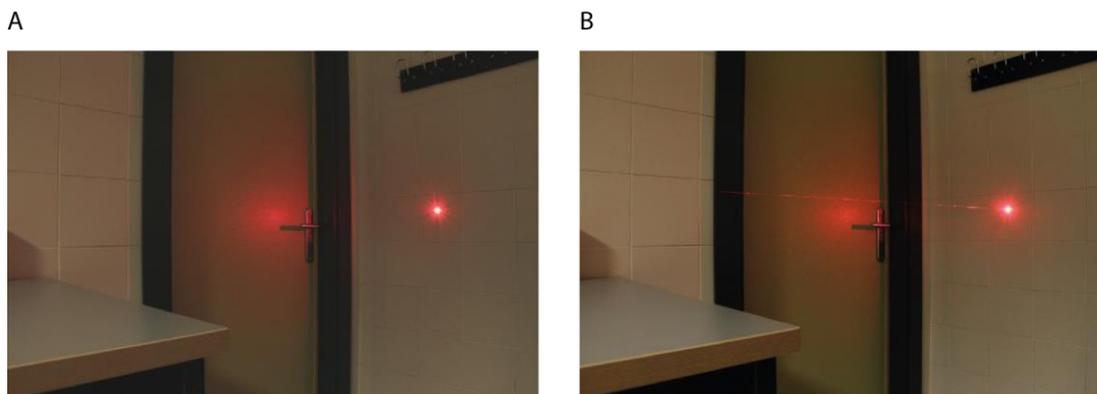


Figura 3: Trayectoria de la luz del láser antes y después de sacudir el borrador de pizarra.

4.2. Actividad 2. Medida del índice de refracción del agua.

Introducción. En los problemas de la ley de Snell a menudo se calculan ángulos de incidencia, ángulos de refracción e índices de refracción a partir de unos datos determinados. Sin embargo, en pocas ocasiones se hacen experiencias prácticas para visualizar la reflexión y refracción de la luz. Este aspecto junto con las investigaciones que muestran que un mayor trabajo de laboratorio aumentaría el interés de los estudiantes (Marbà-Tallada y Márquez Bargalló, 2010; Solbes et al., 2007) son los hechos que motivan la realización de esta actividad.

La idea general de la actividad es calcular el índice de refracción del agua usando la ley de Snell a partir de los datos experimentales que los propios estudiantes midan. De esta forma, el estudiantado aumentará sus destrezas empleando la ley de Snell, tema recurrente en selectividad, a la vez que trabajarán habilidades propias del laboratorio. Los materiales que se emplean son accesibles, ya que no se necesita instrumental específico de laboratorio.

El papel del docente durante toda la actividad ha de ser el de guía de los estudiantes hacia el buen desempeño de la misma. Los estudiantes tendrán que resolver el problema por ellos mismos, decidiendo qué y cómo tienen que medir para poder calcular el índice de refracción del agua. La figura del profesor servirá de apoyo proporcionando la ayuda necesaria en todo momento. De esta forma, se promueve un aprendizaje activo de forma que los conceptos y habilidades adquiridas sean más significativas.

En cuanto a la metodología de la actividad, se formarán grupos de trabajo de forma que se desarrolle el aprendizaje cooperativo. El número de estudiantes por grupo se adaptará en función del número total de estudiantes en el aula, pero nunca será superior a tres. Asimismo, se promueve un uso activo de las tecnologías de información y comunicación para la recogida, tratamiento y posterior comunicación de los datos experimentales.

Materiales. Puntero láser, cubeta transparente, colorante alimenticio o leche, transportador de ángulos y material de escritura.

Temporalización. La actividad está planteada para realizarse una vez que se han explicado las leyes de reflexión y refracción. Su duración es de una hora.

Desarrollo. Inicialmente y con la ayuda de un transportador de ángulos se construye un semicírculo graduado que posteriormente servirá para medir los ángulos de incidencia. Una vez hecho esto, se llena una cubeta transparente de agua hasta la mitad y se coloca delante del semicírculo graduado de tal forma que la superficie de separación del aire y el agua coincida con la parte inferior del semicírculo (Figura 4A).

Una vez hecho esto, se añade un poco de leche o colorante alimentario al agua (Figura 4B), lo que permitirá visualizar la trayectoria de la luz en el agua (Figura 4C), completando así el montaje experimental necesario para la realización de la actividad. Para ver la trayectoria de la luz en el aire, podría añadirse humo o polvo de tiza.

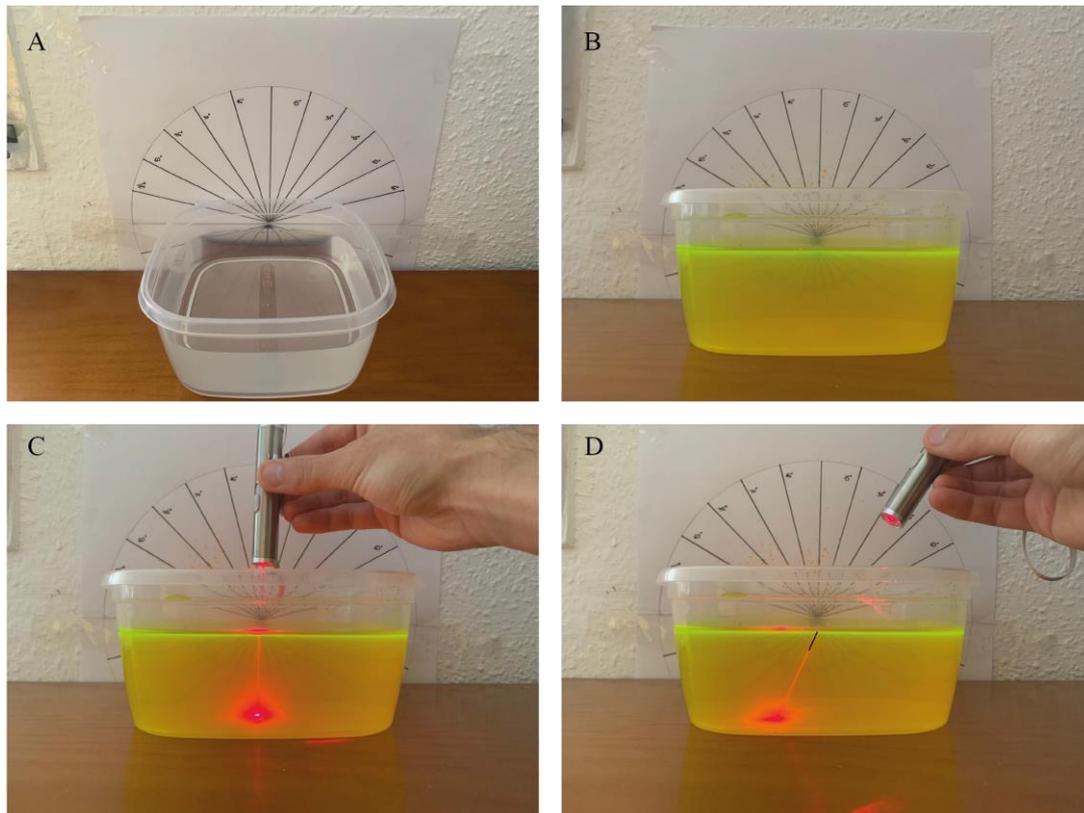


Figura 4: Montaje experimental para la medida del índice de refracción del agua.

A continuación se trata de realizar distintas medidas del ángulo de refracción en función del ángulo de incidencia para, conocido el índice del aire, calcular el índice de refracción del agua empleando la ley de Snell. Las medidas de los ángulos llevarán un error asociado y por tanto el índice de refracción calculado también. Para minimizar este error, se harán varias medidas variando el ángulo de incidencia y en cada una de ellas se calculará el índice de refracción. El valor final se obtendrá como media aritmética de los índices de refracción obtenidos en cada una de las medidas. En resumen, los estudiantes deberán completar la tabla 1 extendiendo el número de medidas.

Los estudiantes son los responsables de decidir qué ángulos de incidencia son los más adecuados para las medidas y cuál es la mejor forma de medir el ángulo de refracción, de forma que se desarrolle el sentido de la iniciativa. Si hubiese problemas en este aspecto, se recomienda hacer una marca sobre la cubeta transparente que coincida con la trayectoria que sigue la luz en el agua para posteriormente medir el ángulo que forma dicha marca con la normal, tal y como muestra la Figura 4D. Finalmente, cada

grupo de trabajo deberá recoger en un pequeño documento las medidas realizadas y los resultados obtenidos, explicando la metodología que se ha seguido.

	Ángulo de incidencia	Ángulo de refracción	Índice del agua
Medida 1			
Medida 2			
Medida 3			
Media aritmética del índice de refracción del agua			

Tabla 1: Datos experimentales a tomar para la medida del índice de refracción del agua.

Propuesta complementaria. La actividad que se acaba de presentar es relevante por su carácter práctico pero también es ampliamente conocida y puede resultar básica para determinados grupos de estudiantes. Es por ello que en función de los intereses y capacidades de los estudiantes y de los objetivos del docente, este podría extender la actividad anterior con la propuesta opcional que se plantea en este apartado, donde se trabajará la propagación de la luz en medios no homogéneos (Millán et al., 2004).

En esta actividad adicional se propone que cada grupo de trabajo prepare una disolución concentrada de azúcar en agua y que incidan sobre dicha disolución con el puntero láser, al igual que han hecho en la actividad anterior. Si está bien disuelta, se puede considerar homogénea e isotrópica y la luz irá en línea recta. Sin embargo, si se deja en reposo durante un cierto tiempo habrá más concentración de azúcar en la parte baja. En este punto, se les pedirá a los estudiantes que incidan de nuevo con el puntero láser para que observen como se curva la trayectoria de la luz. Cada grupo discutirá el resultado obtenido y con el docente como guía se llegará a la conclusión de que la trayectoria de la luz se curva debido a la no homogeneidad del medio.

4.3. Actividad 3. Estudio de la reflexión y refracción con simulaciones

Introducción. El uso de simulaciones didácticas presenta numerosas ventajas (Amadeu y Leal, 2013; Ansise Chirino et al., 2015; Sierra et al., 2007). Entre ellas destacan:

- La componente audiovisual de las simulaciones ayuda a comprender mejor tanto fenómenos físicos como ciertos conceptos que a veces son difíciles de imaginar. Este hecho aumenta el interés y la motivación del estudiantado.
- Permite la interacción entre la máquina y el estudiante. Los cambios que el estudiante realice se reflejan inmediatamente en los resultados, lo que da lugar a una mayor interiorización de los conceptos.
- Posibilidad de adaptación al ritmo de aprendizaje de cada estudiante, existiendo la posibilidad de seguir trabajando con las simulaciones desde casa.

En esta actividad se trabaja la refracción de la luz mediante simulaciones numéricas. Se divide en dos partes: la primera de ellas consiste en calcular índices de refracción y ángulos límite, mientras que la segunda parte se basa en predecir de manera cualitativa marchas de rayos a través de distintas figuras geométricas para su posterior verificación con la simulación. La simulación mejorará la comprensión del concepto de ángulo límite y estimulará el razonamiento del estudiante a la vez que se hacen cálculos habituales en problemas de selectividad.

El software escogido es sencillo de manejar de modo que el uso de la simulación no sea contraproducente. De cualquier modo, el profesor actuará de guía para los estudiantes y explicará brevemente el funcionamiento de la simulación al inicio de la sesión. Con esta mecánica de trabajo el estudiante adopta un papel activo en su proceso de aprendizaje. La metodología a seguir será de trabajo cooperativo, formando pequeños grupos.

Materiales. Dispositivo con acceso a internet (tablet, ordenador) y material de escritura.

Temporalización. La actividad está pensada para realizarse en una hora, con la posibilidad de seguir trabajando sobre la misma en casa. Las simulaciones han de realizarse una vez que se ha explicado la teoría subyacente a la reflexión y la refracción aunque también se podrían emplear como apoyo en las propias explicaciones.

Desarrollo. La actividad se realizará con el simulador online realizado por la Universidad de Colorado, disponible en el siguiente enlace: http://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_es.html.

La primera parte se realiza en el apartado de *Introducción*. En la interfaz del simulador hay distintas opciones que permiten modificar el material de los medios, activar la fuente de luz, caracterizar la fuente como rayo u onda, emplear un transportador de ángulos para la medida de los mismos, etc. Para la actividad, se toma como material del medio 1 aire y como material del medio 2, *Misterio A* (Figura 5A). Una vez hecho esto, se activa la fuente de luz (Figura 5B). Conociendo el índice de refracción del medio 1 y empleando las herramientas del simulador para la medida de ángulos, el estudiante ha de calcular el índice de refracción del segundo medio.

A continuación, se toma el primer medio como *Misterio A*, ahora con índice de refracción conocido, y el segundo medio como vidrio. Con la ayuda del simulador, el estudiante ha de discutir si existe ángulo límite y en caso de que exista, calcularlo tanto numéricamente mediante la ley de Snell como infiriéndolo a partir del simulador. Todo este proceso ha de repetirse de nuevo para el material llamado *Misterio B*.

La segunda parte de la actividad se realiza en el apartado de *Prismas*. En esta sección se permite variar tanto el índice de refracción del medio como de las figuras geométricas, variar la longitud de onda de la fuente de luz, elegir distintas figuras, etc. Se toma el entorno como aire y las figuras como vidrio. Esta parte consiste en colocar distintas figuras geométricas con disposiciones determinadas frente a la fuente de luz (Figura 6A) e intentar razonar la trayectoria que tendrá la luz al salir del material de forma cualitativa mediante las leyes de la refracción. Una vez que se ha esbozado de forma razonada la posible trayectoria, se comprueba si es correcta encendiendo la fuente de luz (Figura 6B).

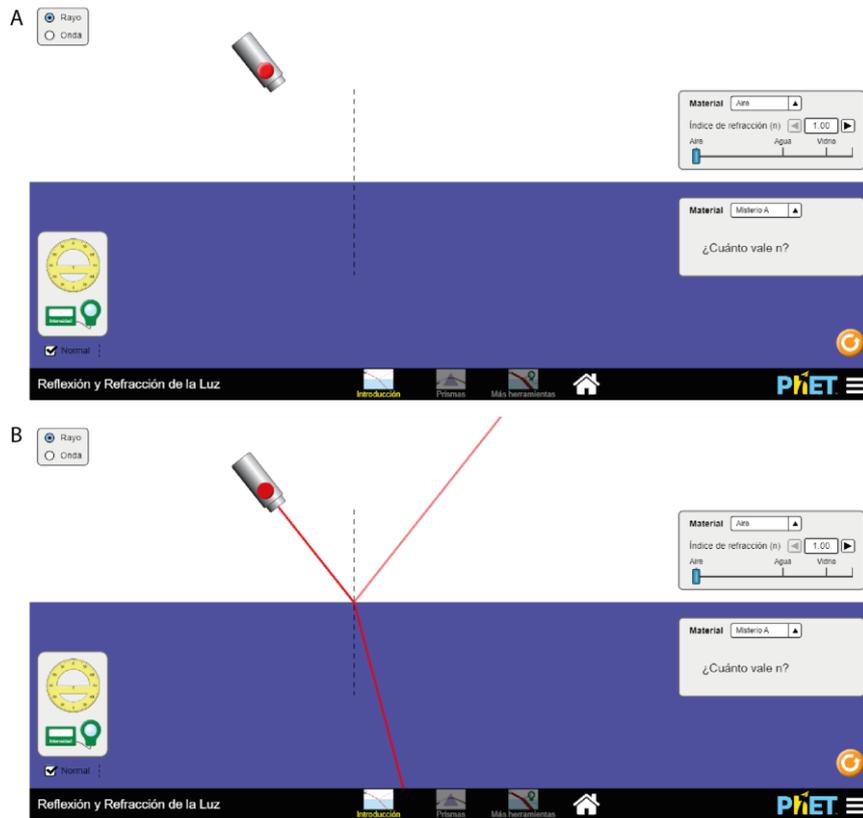


Figura 5: Interfaz gráfica para trabajar el cálculo de índices de refracción y ángulos límite.

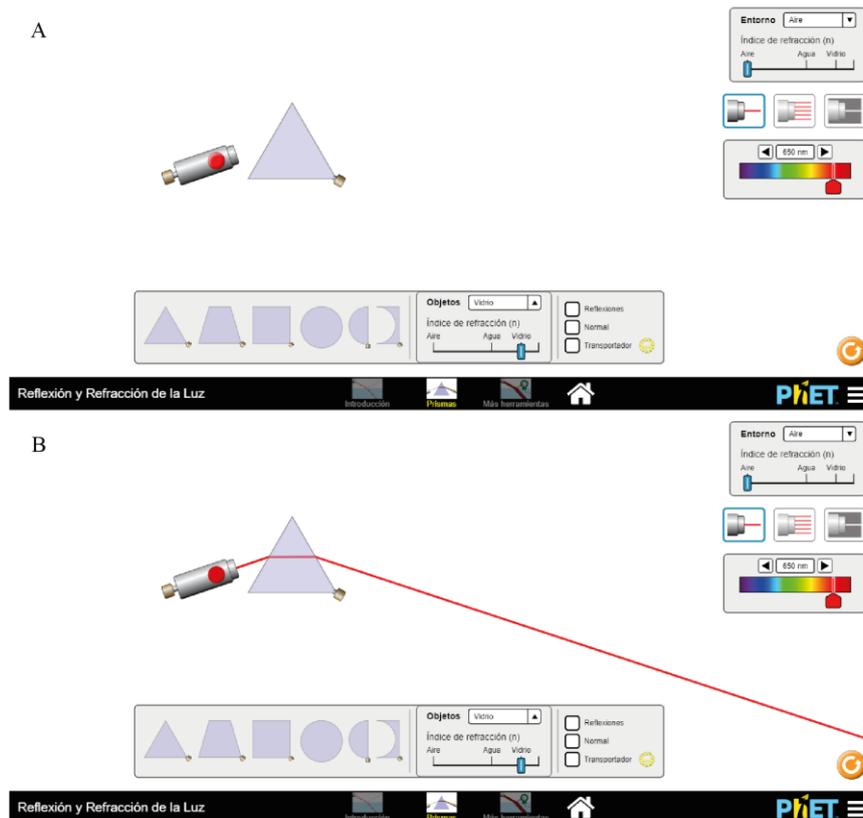


Figura 6: Interfaz gráfica para trabajar la marcha de rayos a través de figuras geométricas.

4.4. Actividad 4. Reflexión total y fibra óptica.

Introducción. La fibra óptica consiste en un filamento fino formado por fibra de vidrio que transmite pulsos de luz. Su funcionamiento se basa en la reflexión total dentro de la fibra de vidrio de tal forma que el haz de luz se siga propagando por el interior de la misma. La fibra óptica encuentra sus aplicaciones en diferentes campos como las comunicaciones, la iluminación, la medicina, etc. Dado que la fibra óptica está presente en la vida diaria de los estudiantes, la presente actividad estimula la motivación del estudiantado acercando la óptica geométrica a su entorno más cercano.

La actividad consiste en estudiar el funcionamiento de la fibra óptica, relacionarlo con el fenómeno de reflexión total y conocer sus implicaciones tecnológicas en la actualidad. Para ello, la actividad se divide en dos partes. Inicialmente, los estudiantes deberán buscar información sobre la fibra óptica y posteriormente deberán realizar una experiencia práctica para comprender como es la propagación de la luz dentro de los filamentos de vidrio. El docente servirá de apoyo de los estudiantes para el buen desempeño de la actividad, guiándolos en la búsqueda de información y fuentes bibliográficas y en el desarrollo de la experiencia práctica.

La actividad se realizará en grupos pequeños de trabajo y se empleará una metodología de aprendizaje basado en problemas. Para ello, se plantearán preguntas problemáticas tales como ¿Cuál es el funcionamiento de la fibra óptica? o ¿Se podría hacer fibra óptica de otro material diferente al vidrio?

Materiales. Puntero láser, cubeta transparente, colorante alimenticio o leche y tecnologías con acceso a internet.

Temporalización. La actividad está planteada para realizarse una vez se ha estudiado el concepto de ángulo límite. Su duración es de una hora y en caso de no terminarse, se finalizará en casa.

Desarrollo. La actividad comienza con el planteamiento de las siguientes preguntas: ¿Cuál es el funcionamiento de la fibra óptica? ¿Se podría hacer fibra óptica de otro material diferente al vidrio? ¿Se puede usar la fibra óptica en aplicaciones externas a las comunicaciones? El profesor explica que la fibra óptica está relacionada de algún modo con el fenómeno de reflexión total y motiva a los estudiantes a seguir investigando sobre el tema.

A continuación, se forman grupos de trabajo y se busca información sobre la fibra óptica (funcionamiento, aplicaciones, ventajas e inconvenientes, material con el que se fabrica, etc.). Cada componente del grupo ha de investigar sobre un aspecto concreto de la fibra óptica para posteriormente compartir toda la información con sus compañeros, trabajando así el aprendizaje cooperativo. Toda la información recopilada ha de recogerse en un documento cuya extensión máxima será de una página.

Una vez completado el proceso anterior, se visualizará la propagación de la luz en agua por reflexión interna total para comprender mejor como es la propagación de la luz en el interior de la fibra óptica. Para ello, se llenará un recipiente transparente de agua hasta un tercio de su capacidad y se le añadirán unas gotas de leche o de colorante alimenticio para poder visualizar la trayectoria de la luz en el agua. También se añadirá polvo de tiza al espacio que queda por encima del agua para ver la trayectoria de la luz en el aire. Una vez hecho esto, se hará incidir la luz desde el agua hacia el aire (Figura

7A) y se probarán distintos ángulos de incidencia hasta superar el ángulo límite (Figura 7B). Para facilitar la visualización de la trayectoria de la luz cuando se supera el ángulo límite, se podría colocar un espejo plano bajo la cubeta transparente, aunque no es estrictamente necesario. Una vez conseguido, los estudiantes han de fotografiar la trayectoria que sigue la luz en el agua y añadir dicha fotografía al documento que anteriormente han hecho con la información de la fibra óptica. Dicho documento se tendrá que entregar al profesor.

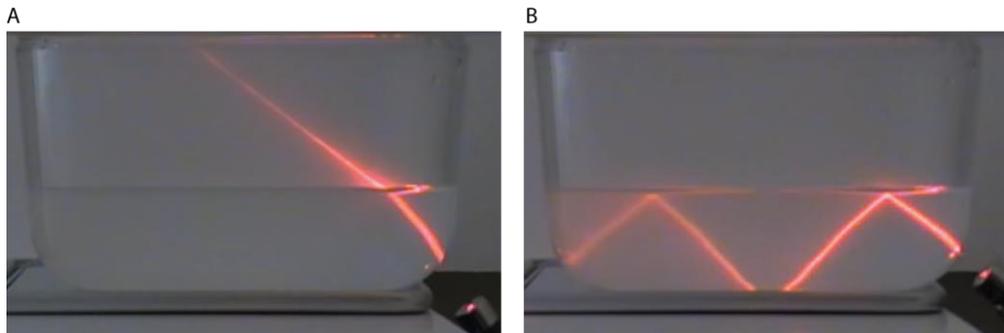


Figura 7: Propagación de la luz en el agua. Adaptado de Fq-experimentos, 2011.

Propuesta complementaria. En función de los intereses y capacidades de los estudiantes, el docente podría extender, si así lo cree conveniente, la actividad anterior con la propuesta que se plantea en este apartado, donde el profesor realizará el conocido como “experimento de Tyndall-Colladon”. El experimento de Tyndall-Colladon (Martín et al., 2015) hace referencia al confinamiento de la luz en el agua debido al fenómeno de reflexión total cuando la luz incide sobre un pequeño orificio realizado en un recipiente lleno de agua (Figura 8A).

Debido a su mayor complejidad, este experimento lo hará únicamente el docente para que los estudiantes visualicen el resultado final. En este caso, el docente necesitará una botella de plástico transparente, un puntero láser y material para hacer orificios.

Para llevar a cabo el experimento, se hace un orificio de unos pocos milímetros (4-6 mm) en la botella de plástico y se llena de agua mientras se presiona el orificio para que no se escape el agua. A continuación se quita el dedo y se ilumina el orificio desde detrás del chorro que se ha producido. El resultado puede verse en la Figura 8B.

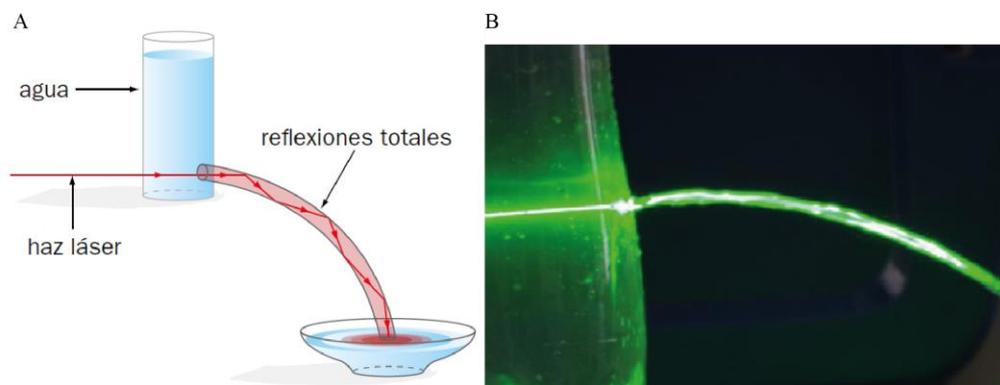


Figura 8: Experimento de Tyndall-Colladon. Adaptado de García García et al., 2015; Villareal Rodríguez y Segarra Alberú, 2017.

4.5. Actividad 5. Espejos esféricos y GeoGebra.

Introducción. GeoGebra es un software dinámico para la enseñanza y aprendizaje a diferentes niveles académicos. Inicialmente fue propuesto para la enseñanza de matemáticas, pero actualmente su uso está muy extendido en el campo de la física. GeoGebra combina las representaciones geométricas con las algebraicas, lo que lo convierte en la herramienta idónea para el estudio de la marcha de rayos tanto en espejos como en lentes al establecer una conexión inmediata entre las ecuaciones algebraicas que gobiernan estos sistemas ópticos y las gráficas geométricas correspondientes. Todos los objetos ópticos que se incorporen en la ventana gráfica tendrán su correspondiente representación algebraica. Una de las principales ventajas de GeoGebra es su facilidad de uso, ya que nos permite manipular construcciones ya realizadas previamente para estudiar un sistema o fenómeno en particular.

En esta actividad los estudiantes resolverán ejercicios de selectividad relacionados con los espejos esféricos apoyándose de la herramienta de GeoGebra llamada *Espejo Cóncavo / Convexo. Simulación PARAXIAL*, disponible en <https://www.geogebra.org/m/heCXFcfN>. Para ello, primero resolverán los ejercicios a lápiz y papel y posteriormente comprobarán sus resultados con la ayuda de la herramienta presentada. En caso de que presenten dificultades en la resolución inicial de los ejercicios, la simulación puede servir de ayuda. El uso de GeoGebra aumentará la motivación de los estudiantes y hará que las actividades sean más amenas a la vez que se trabajan ejercicios de selectividad.

La actividad está pensada para realizarse en clase en grupos pequeños de forma que al menos haya un ordenador por grupo para realizar las simulaciones con GeoGebra. A pesar de que la herramienta funciona en dispositivos móviles se recomienda su uso en ordenador. Una vez que los estudiantes conozcan la herramienta presentada en esta actividad, podrán usarla en sus casas de forma individual siempre que lo necesiten.

El profesor será el encargado de introducir y presentar las principales funciones de GeoGebra. Además, servirá como apoyo a los estudiantes para las dudas que surjan durante el desarrollo de la actividad.

Materiales. Ordenador

Temporalización. La actividad está planteada para que se realice después del estudio de los espejos esféricos y las principales características de los mismos. Su duración será de una hora.

Desarrollo. La interfaz gráfica de GeoGebra para el estudio de espejos esféricos puede verse en la Figura 9. Mediante los puntos morados se pueden variar las posiciones del foco, el objeto y el espejo así como el tamaño del objeto. Dichas posiciones aparecen en azul en la esquina superior izquierda. La simulación presenta por defecto un espejo cóncavo. Para cambiar a espejo convexo hay dos posibilidades: pasar el objeto a la derecha del espejo o cambiar la posición del foco y la del espejo hacia el eje positivo. Las imágenes que se formen a través del espejo aparecen en rojo si se tratan de imágenes virtuales y de azul si son reales. En la esquina superior izquierda aparecen cuatro casillas que nos permiten mostrar en pantalla los rayos característicos empleados en la marcha de rayos: rayo paralelo (rayo que incide paralelo al eje principal), rayo

radial (rayo que pasa por el centro de curvatura del espejo), rayo focal (rayo que pasa por el foco del espejo) y rayo central (rayo que incide sobre el vértice del espejo).

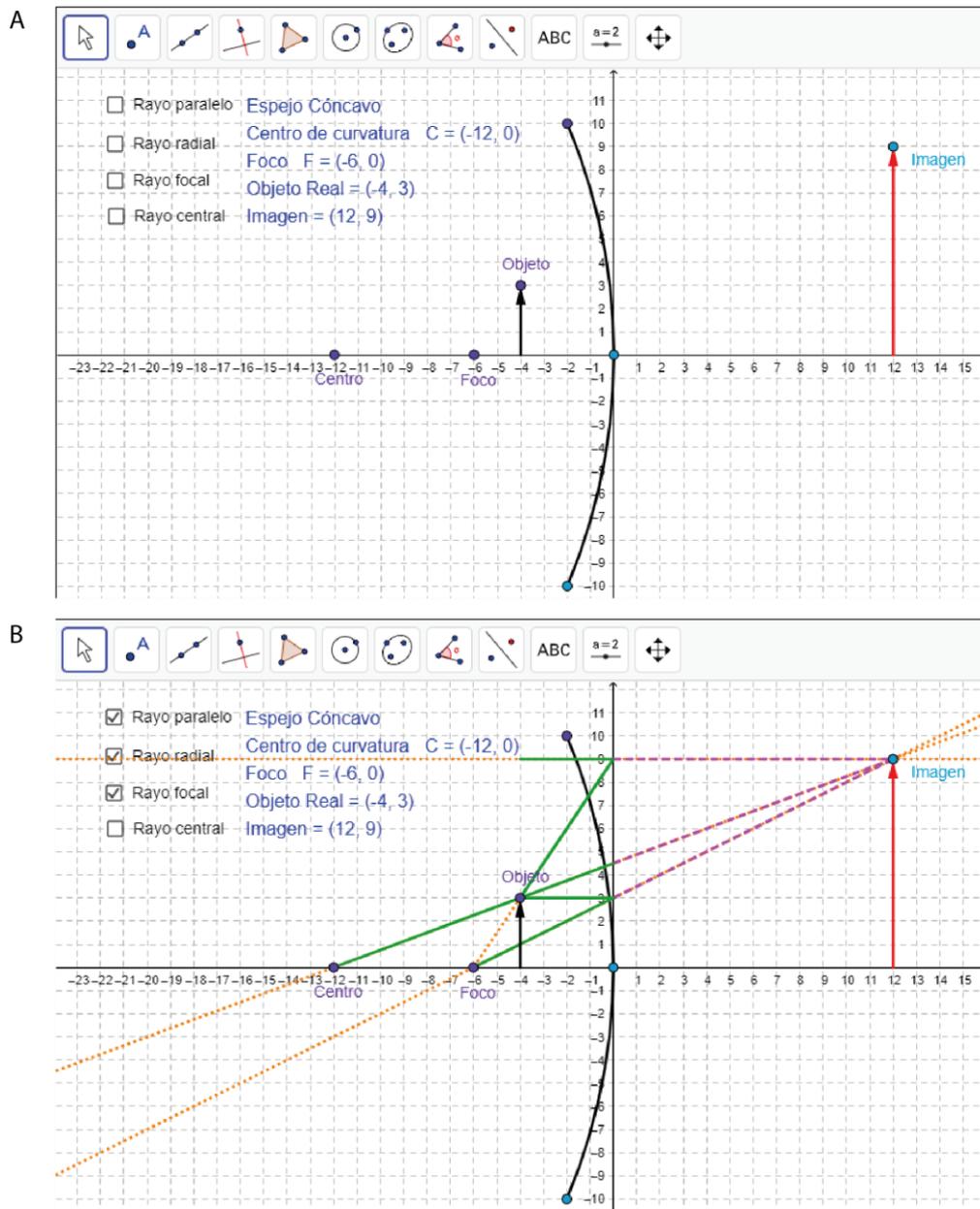


Figura 9: Interfaz gráfica de GeoGebra para el estudio de espejos cóncavos y convexos.

El rayo central se suele omitir en 2º de Bachillerato, por lo que se pedirá a los estudiantes que no lo activen. Con los otros será suficiente. Aquí el docente deberá hacer especial hincapié en que las fuentes extensas de luz que emplea GeoGebra han de entenderse como numerosas fuentes puntuales y que los rayos son representaciones geométricas que describen el comportamiento de la luz en determinadas condiciones. Por tanto, los rayos que usa GeoGebra y que se estudian en 2º de Bachillerato simplemente son los tres rayos idóneos por sus sencillas reglas de trazado de rayos, pero podrían usarse otros.

El procedimiento a seguir en cualquier caso es plantear inicialmente el problema o cuestión en un folio. Una vez se ha resuelto el problema a lápiz y papel o se han planteado determinadas hipótesis, ha de comprobarse la validez de la solución o las

hipótesis planteadas haciendo las pruebas correspondientes en la simulación GeoGebra. En caso de que la solución sea incorrecta, el uso de GeoGebra permitirá al estudiantado alcanzar la solución más fácilmente. En todo caso, la visualización de formación de imágenes en la simulación ayudará a los estudiantes a ganar intuición y coger práctica en la realización de marcha de rayos.

Propuesta complementaria. Esta actividad también puede plantearse resolviendo ejercicios de lentes delgadas usando la herramienta de GeoGebra llamada *Lente Convergente/Divergente*, disponible en <https://www.geogebra.org/m/dpFzRedt>. La metodología será la misma: primero se resuelven los ejercicios a lápiz y papel y posteriormente se comprueban con la herramienta de GeoGebra.

4.6. Actividad 6. Corrigiendo problemas visuales.

Introducción. El ojo se comporta como un sistema óptico convergente, siendo la córnea y el cristalino las lentes que dan lugar a la convergencia de los rayos. La cantidad de luz que entra en el ojo está controlada por el iris. En un ojo sano, los rayos de luz que entran al ojo convergen en la retina (Figura 10A). Los ojos con miopía enfocan la luz delante de la retina, mientras que los ojos con presbicia e hipermetropía enfocan la luz detrás de la misma. En el caso del astigmatismo, el ojo no enfoca de forma pareja sobre la retina.

El porcentaje de personas que utiliza algún tipo de sistema de corrección visual es elevado en la actualidad (Redacción, 2019). Sin embargo, la mayoría de ellos no conocen el funcionamiento del ojo y en su caso, los defectos visuales del mismo y como corregirlos. Este aspecto, en el mejor de los casos, se explica de manera breve y teórica en los cursos de Bachillerato, haciendo que los estudiantes olviden rápidamente los conceptos aprendidos.

En esta actividad se propone el estudio de los defectos visuales del ojo humano y los tipos de lentes que se emplean para corregirlos mediante el uso de la aplicación móvil llamada *Pocket Optics* (Alpa-Tek, 2019). Una vez identificadas las lentes que corrigen los diferentes defectos visuales, se plantea la deducción de los tipos de lentes que los estudiantes con problemas visuales tengan en sus gafas.

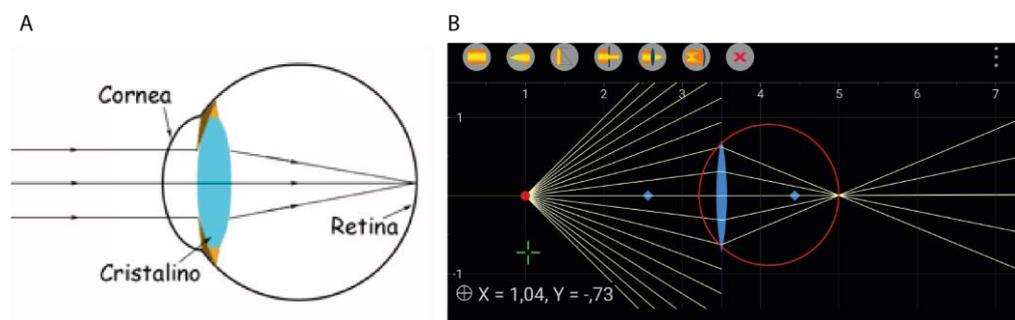


Figura 10: Funcionamiento del ojo humano.

La experimentación a través de la aplicación móvil aumentará la motivación del estudiantado y les permitirá construir su propio conocimiento de forma que los nuevos conceptos se asimilen mejor. La actividad se realizará en grupos pequeños y el docente deberá ir guiando a los estudiantes, explicando el funcionamiento de la aplicación móvil e introduciendo los conceptos teóricos necesarios para el buen desempeño de la actividad.

Materiales. Un dispositivo móvil por grupo de trabajo.

Temporalización. La realización de la actividad está planteada para explicar el funcionamiento del ojo, los problemas visuales y la corrección de los mismos. Su duración es de una hora.

Desarrollo. El docente comienza la clase planteando preguntas tales como: ¿Cómo funcionan las gafas? ¿Cuáles son los problemas de vista más comunes y a qué se deben? Estas preguntas les servirán para introducir el funcionamiento del ojo.

Una vez los estudiantes hayan comprendido que el ojo es un sistema convergente que focaliza los rayos en la retina, el profesor presentará la aplicación móvil Pocket Optics para modelar el ojo mediante una lente convergente. El modelo inicial que cada grupo de estudiantes ha de hacer, guiados por el profesor, será el de una lente convergente situada en la posición $X=3.5$ y de distancia focal $f=0.95$ (Figura 10B). En estas condiciones los rayos de un objeto luminoso convergen en la posición $X=5.0$, posición que, suponiendo que este modelo representa un ojo sano, determina la retina de dicho ojo.

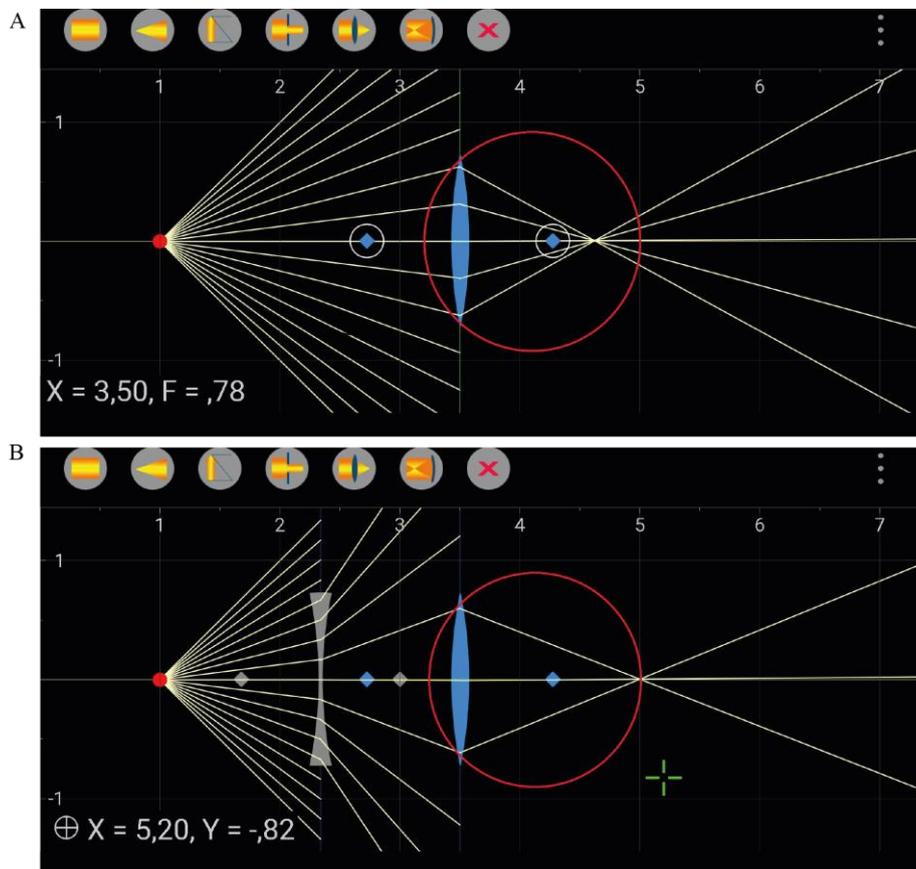


Figura 11: Modelado de un ojo con miopía y resultado tras la corrección del defecto visual.

Una vez hecho esto, el profesor irá introduciendo los defectos visuales principales, comenzando con la miopía. Para modelar un ojo con miopía los estudiantes han de modificar la distancia focal de la lente azul moviendo los rombos azules de tal forma que los rayos converjan antes de la retina, esto es, de la posición $X=5.0$ (Figura 11A). En esta situación se les plantea a los estudiantes cuál sería la forma de corregir este defecto visual. Para responder a esta pregunta, deberán colocar diferentes sistemas

ópticos así como combinaciones de ellos frente a la lente azul con el objetivo de que los rayos converjan en la posición $X=5.0$ (retina) de nuevo, corrigiendo así el error visual. Tras ensayo y error, los estudiantes han de llegar a una situación como la mostrada en la Figura 11B, llegando a la conclusión de que la miopía se corrige con lentes divergentes. Durante este proceso, el profesor deberá ayudar a aquellos estudiantes que presenten especial dificultad.

A continuación, el profesor introducirá los defectos de la hipermetropía y la presbicia. Siguiendo el mismo procedimiento que antes y con el objetivo de modelar un ojo con alguno de estos defectos, los estudiantes deberán variar la distancia focal hasta que los rayos converjan detrás de la retina (Figura 12A). De nuevo, los estudiantes deberán colocar distintos sistemas ópticos frente a la lente azul para corregir el defecto visual, llegando a la conclusión que estos defectos visuales se corrigen con lentes convergentes (Figura 12B).

En último lugar, el docente mencionará el problema del astigmatismo, comentando que se corrige mediante lentes cilíndricas.

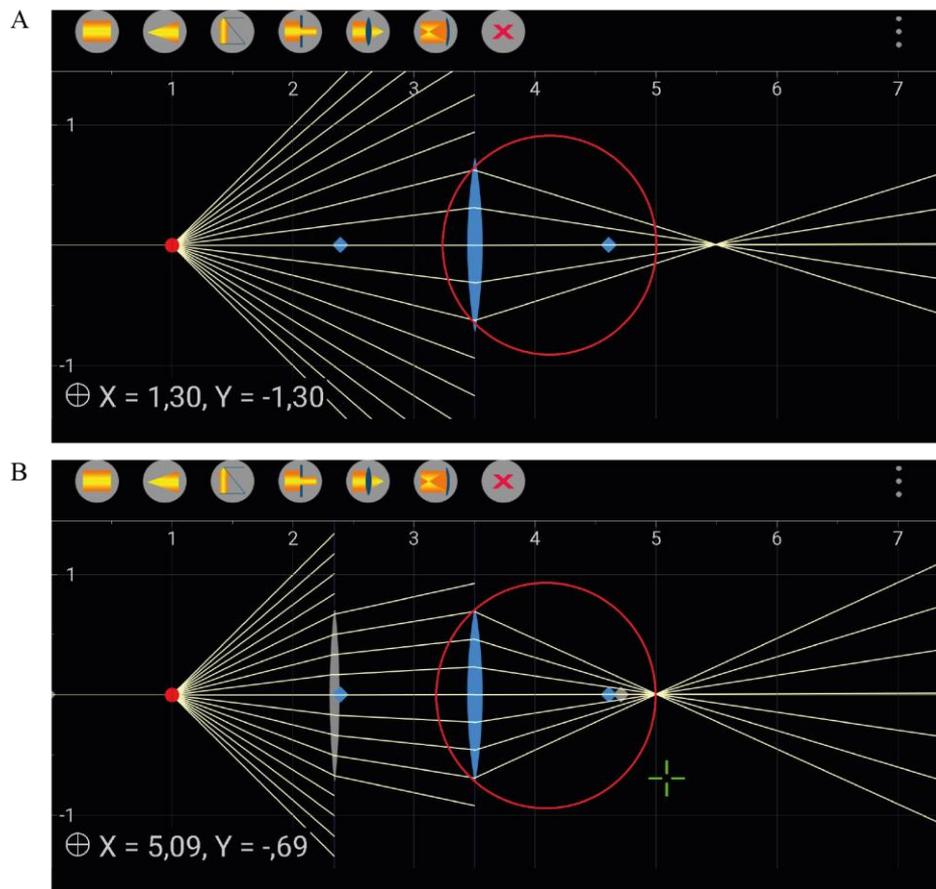


Figura 12: Modelado de un ojo con hipermetropía o presbicia y resultado tras la corrección del defecto visual.

Una vez visto como se corrigen los diferentes defectos visuales, los estudiantes intentarán predecir si las lentes que ellos mismos o sus compañeros llevan en las gafas son para miopía o hipermetropía. En caso de que ningún estudiante del grupo lleve gafas, será el profesor el que las proporcione. Para realizar esta tarea, el profesor guiará a los estudiantes proporcionando distintos procedimientos para inferir el tipo de lente: comprobar al tacto la diferencia de grosor entre los bordes y el centro, comprobar si los

objetos cercanos vistos a través de la lente son mayores (lente convergente) o menores (lente divergente) y proyectar una fuente de luz a través de la lente sobre una hoja blanca para ver lo que se observa.

4.7. Actividad 7. La cámara oscura.

Introducción. Una cámara oscura es un instrumento óptico con un orificio pequeño que, gracias a la propagación rectilínea de la luz, forma una imagen invertida del objeto. La marcha de rayos en este instrumento viene esquematizada en la Figura 13.

Debido a la falta de instrumental óptico que usualmente hay en los institutos, resulta difícil que los estudiantes se familiaricen con los mismos. Por ello se desarrolla la presente actividad, para acercar al estudiantado uno de los instrumentos ópticos más conocidos desde la antigüedad: la cámara oscura. En la literatura existen distintas propuestas didácticas donde se convierten habitaciones en cámaras oscuras (Flynt y Ruiz, 2015) o donde se usan cajas de cartón de grandes dimensiones como cámaras oscuras (Criado et al., 2006). Sin embargo, la propuesta que se expone en este trabajo es especializada para los alumnos de Bachiller, adaptándose al escaso tiempo disponible en este curso académico. Para ello, en esta actividad se construye una cámara oscura a partir de una caja de zapatos, con lo que se disminuyen los recursos necesarios, el tiempo y la dificultad de la actividad.

El docente deberá guiar a los estudiantes en la construcción de la cámara oscura, proporcionándoles ayuda durante el desarrollo de la actividad e introduciendo los conceptos teóricos del instrumento óptico. En cuanto a la metodología, la actividad se realizará en grupos de 4 o 5 estudiantes, promoviendo así el trabajo en equipo y el aprendizaje cooperativo.

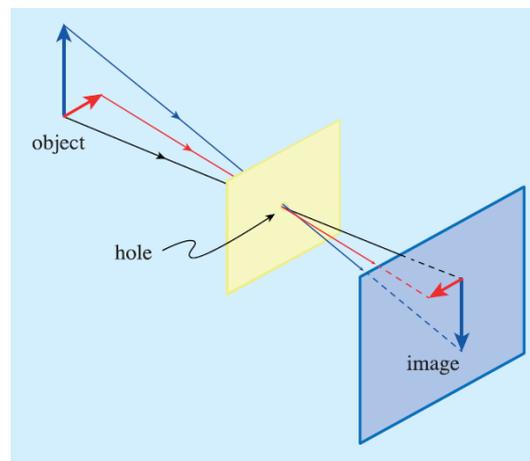


Figura 13: Diagrama de rayos en una cámara oscura. Adaptado de Flynt y Ruiz, 2015.

Materiales. Una caja de zapatos, papel de aluminio, papel vegetal, un cúter, una aguja fina o alfiler, cinta adhesiva y pintura negra.

Temporalización. La actividad está planteada para realizarse al inicio del temario a modo de motivación de los estudiantes, o en la parte del temario correspondiente a instrumentos ópticos. Su duración será de una hora y media.

Desarrollo. La actividad se introducirá al final de una sesión cualquiera, donde el docente expondrá el concepto de cámara oscura (sin explicar su base teórica) y dirá los

materiales necesarios para su fabricación de forma que al inicio de la siguiente sesión todos los materiales ya estén preparados.

Al inicio de la siguiente sesión, el docente indicará rápidamente el procedimiento a seguir para la fabricación del instrumento óptico. Para ello, puede ayudarse de vídeos explicativos de YouTube (SPIETV, 2017). Inicialmente se ha de pintar el interior de la caja de zapatos con pintura negra. Este proceso puede ser largo ya que hay que dejar secar la pintura, por lo que existe la posibilidad de pedirle a cada grupo de estudiantes que lo haga antes del inicio de la sesión. Una vez hecho esto, hay que hacer un hueco rectangular pequeño en uno de los lados de la caja con la ayuda del cúter. Este hueco tiene que cubrir el centro de la superficie. A continuación, se cubre el hueco realizado con papel de aluminio y ayuda de cinta adhesiva y se hace un pequeño agujero en el centro del papel de aluminio con la ayuda de una aguja o alfiler (Figura 14A). Por último, en el lado opuesto de la caja hay que hacer otro hueco rectangular un poco más grande que el anterior y cubrirlo con papel vegetal (Figura 14B).

Una vez terminada la construcción de la cámara oscura, las imágenes invertidas de todos los objetos luminosos que se coloquen frente al orificio realizado sobre el papel de aluminio podrán verse a través del papel vegetal. Alcanzado este punto, cada grupo de alumnos experimentará y observará distintos objetos luminosos a través del papel vegetal. El docente les planteará preguntas a los grupos de trabajo tales como: ¿Por qué la imagen que se observa es invertida? ¿Cómo es la marcha de rayos en este dispositivo? ¿Se podría construir una cámara oscura en edificios o habitaciones más grandes? ¿Qué esperas obtener si el orificio es mayor? ¿Qué semejanzas hay entre este dispositivo y una cámara fotográfica? Estas preguntas se discutirán entre los miembros de cada grupo que, con la ayuda del docente y los demás grupos, las responderán razonadamente.

El hecho de que los estudiantes construyan por ellos mismos la cámara oscura dará lugar a una mayor motivación por parte de los mismos y un aprendizaje significativo.

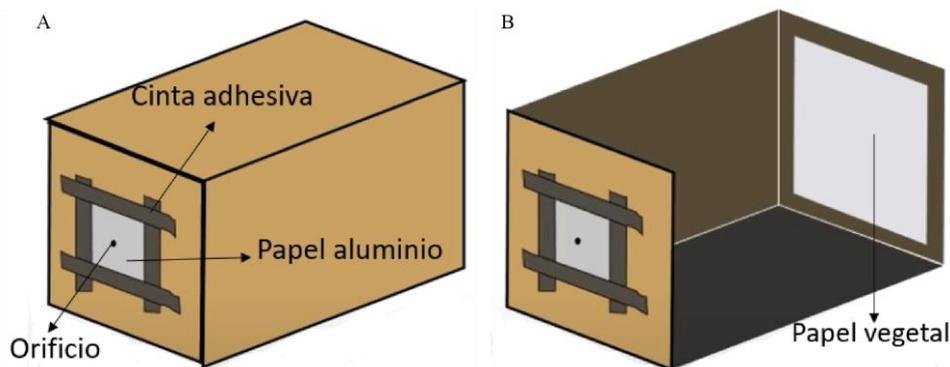


Figura 14: Proceso de fabricación de la cámara oscura con una caja de zapatos. Adaptado de La cámara de Charlotte Pozzi-Escot, 2015.

5. Conclusiones y reflexiones finales

En este artículo se ha propuesto un conjunto de actividades innovadoras para trabajar el temario de óptica geométrica en la asignatura de Física de 2º de Bachillerato desde un enfoque constructivista, donde el estudiante participa de forma activa en su aprendizaje. Las actividades planteadas hacen uso de estrategias didácticas tales como el

aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje cooperativo y contribuyen además a la preparación de los estudiantes para las pruebas de acceso a la universidad.

Las actividades presentan una amplia variedad de enfoques, abarcando desde simulaciones hasta experiencias prácticas sencillas. El uso de simulaciones en este trabajo (actividades 3, 5 y 6) ayuda a comprender mejor ciertos fenómenos físicos y permite a los estudiantes conocer su importancia en el ámbito científico, mientras que la implantación de trabajos experimentales (actividades 2, 4 y 7) permite realizar experiencias prácticas con material sencillo. Además, el uso del aprendizaje basado en problemas en las actividades 1 y 4 permite acercar el temario al entorno más próximo al estudiante. Por último, el enfoque de las actividades y el contenido de las mismas otorga al estudiante un mayor protagonismo en su formación, de forma que el proceso de preparación para la selectividad se hace más ameno y divertido. De esta forma, se logran los objetivos planteados al inicio de este trabajo.

Las actividades presentadas se centran en el bloque de óptica geométrica pero también trabajan contenidos pertenecientes al bloque de ondas y al bloque de la actividad científica. Además, con dichas actividades se trabajan todas las competencias básicas a excepción de la competencia en conciencia y expresiones culturales y se facilita la consecución de los objetivos que se plantean en la Orden de 15 de enero de 2021 para los estudiantes, contribuyendo así al desarrollo pleno tanto social como académico del estudiantado.

Finalmente, la propuesta de este trabajo no busca reemplazar a la docencia tradicional, sino complementarla. Así, alguien que lea este trabajo puede implementar cualquiera de las actividades descritas como suplemento a sus sesiones sin necesidad de haber realizado las demás. Por tanto, cada docente podrá realizar aquellas actividades que crea más convenientes y mejor se adapten a sus necesidades.

6. Referencias

- Aguilera Morales, D. y Perales Palacios, F. J. (2017). ¿Qué implicaciones educativas sugieren los estudios empíricos sobre actitud hacia la ciencia? *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*. (0), 2261-2268
- Alpa-Tek. (2019). *Pocket Optics* (1.2) [Aplicación móvil]. Google play. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pocketoptics&hl=es_UY
- Amadeu, R. y Leal, J.P. (2013). Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*. 31(3), 177-188
- Ansise Chirino, S., Palma Rodríguez, N. y Rodríguez, G. A. (2015). Aprendizaje de contenidos de óptica geométrica utilizando software didáctico. *Revista de enseñanza de la Física*. 27(1), 37-44
- Arteaga Valdés, E., Armada Arteaga, L., y Del Sol Martínez, J. L. (2016). La enseñanza de las ciencias en el nuevo milenio. Retos y sugerencias. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 169-176
- Barrows, H.S. (1986). A Taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20, 481-486

Benayas Yepes, J. (s.f.). *Espejo Cóncavo / Convexo. Simulación PARAXIAL*. GeoGebra.
<https://www.geogebra.org/m/heCXFcfN>

Benayas Yepes, J. (s.f.). *Lente Convergente/Divergente*. GeoGebra.
<https://www.geogebra.org/m/dpFzRedt>

García García, J. A., Campos Acosta, J., Gómez Robledo, L., Hernández Andrés, J., Hita Villaverde, E., Huertas Roa, R., Martínez Domingo, M. A., Millán, M. S., Moreno, I., Nieves Gómez, J. L., Pérez Fernández, M. A., Romero Mora, J., Valero Benito, E. M. y Yzuel Giménez, M. J. (2015). *Ciencia con luz propia: aplicaciones tecnológicas de la luz. Unidad didáctica*. FECYT. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11162/114304>

Castells, M., Barrera, A. y Casal, P. (1986). *El desafío tecnológico. España y las nuevas tecnologías*. Madrid, España: Alianza

Castro, S., Guzmán, B. y Casado, D. (2007). Las TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje. *Revista de educación*, 13(23), 213-234

Criado, A. M., del Cid, R. y García-Carmona, A. (2006). La cámara oscura en la clase de ciencias: fundamento y utilidades didácticas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 4(1), 123-140

Escribano, A. y Del Valle, A. (2008). *El aprendizaje basado en problemas. Una propuesta metodológica en Educación Superior*. Madrid, España: Narcea

Fourty, A. L., Albalá, M. A., Guzmán, S. D., Orell, J. I., y Rossi, F. M. (2017). Propuesta didáctica para el aprendizaje activo de la óptica geométrica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29 Extra, 401-412

Flynt, H. y Ruiz, M. J. (2015). Making a toom-sized camera obscura. *Physics Education*, 50(1), 19-22

Fq-experimentos. (23 de junio de 2011). *Luz en zig-zag* [Archivo de Vídeo]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=QG-5mvV86uU&t=19s>

García García, J. A. y Perales Palacios, F. J. (2021). ¿Qué opinan los estudiantes universitarios sobre la Física en la Educación secundaria? *29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales y 5ª Escuelas de Doctorado*, 1169-1177

García Salcedo, R. y Sanchez, D. (2009). La enseñanza de conceptos físicos en secundaria: diseño de secuencias didácticas que incorporan diversos tipos de actividades. *Revista Latinoamericana de Física Educativa*, 3(1), 62-67

George, R. (2000). Measuring Change in Students' Attitudes Towards Science Over Time: An application of Latent Variable Growth Modeling. *Journal of Science Education and Technology*, 9(3), 213-225

Gil Llinás, J. (2003). *Preconcepciones y errores conceptuales en Óptica. Propuesta y validación de un modelo de enseñanza basado en la Teoría de la Elaboración de Reigeluth y Stein* [Tesis doctoral, Universidad de Extremadura].
<https://dehesa.unex.es/handle/10662/397>

Goldberg, F. y McDermott, L. (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The Physics Teacher*, 24(8), 472-480

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 of Physics*, 55(2), 108-119

Herrera Pérez, E. (2012). *Diseño, construcción e implementación de una herramienta didáctica para abordar algunos conceptos fundamentales de óptica geométrica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11134>

Koballa, T. R., y Glynn, S. M. (2007). Attitudinal and motivational constructs in science learning. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 75–102). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

La cámara de Charlotte Pozzi-Escot. (8 de marzo de 2015). *¿Cómo construir una cámara oscura, estenopeica o pinhole?* [Archivo de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=G6bmTvQPCoI>

López Martínez, J. D. (2012). La enseñanza de la física en la educación secundaria en España: algunas propuestas desde una perspectiva histórica. *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, 5(1). 25-49

Marbà-Tallada, A., y Márquez Bargalló, C. (2010). ¿Qué opinan los estudiantes de las clases de ciencias? Un estudio transversal de sexto de primaria a cuarto de ESO. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 28(1), 19-30

Martín, M., Pinto, G., Hernández, J. M. y Martín, M. T. (2015). El aparato de Colladon y su relación con la fibra óptica: Reseña histórica y aplicaciones didácticas. *Revista de Física*. 29(3), 34-39

Orden de 15 de enero de 2021, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Educación Primaria en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad, se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del estudiantado y se determina el proceso de tránsito entre distintas etapas educativas. *Boletín oficial de la Junta de Andalucía*, 7, de 18 de enero de 2021. Recuperado de: <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2021/507/BOJA21-507-01024.pdf>

Osuna García, L., Martínez Torregrosa, J., Carrascosa Alís, J. y Verdú Carbonell, R. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: El ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 25(2), 277-294

Perales Palacios, F. J. (1998). La resolución de problemas en la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Educación y Pedagogía*. 10(21), 119-143

Pesa, M., Cudmani, L. C., y Salinas, J. (1993). Transferencia de resultados de la investigación educativa al aprendizaje de la óptica. *Revista de Ensino de Física*. 15(1-4), 42-51

Redacción (9 de octubre de 2019). Cerca de 25 millones de españoles usan gafas o lentes de contacto, la mitad de ellos padecen miopía. *La Vanguardia*.

<https://www.lavanguardia.com/vida/20191009/47882157092/cerca-de-25-millones-de-espanoles-usan-gafas-o-lentes-de-contacto-la-mitad-de-ellos-padecen-miopia.html>

Robles, A., Solbes, J., Cantó, J. R. y Lozano, O. R. (2015). Actitudes de los estudiantes hacia la ciencia escolar en el primer ciclo de la Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 14(3), 361-376.

Salinas, J. y Sandoval, J. (1999). Objetos e imágenes reales y virtuales en la enseñanza de la utópica geométrica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 12(2), 23-36

Shakti Malik. (2017). *Ray Optics* (5.0) [Aplicación móvil]. Google play. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.shakti.rayoptics&hl=es&gl=US>

Sierra, J. L., Perales Palacios, F. J., Sánchez Martínez, A y Martínez López, S. (2007). Aprendiendo física en bachillerato con simuladores informáticos. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (51), 89-97

Solbes, J., Montserrat, R. y Furió, C. (2007). El desinterés del estudiantado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*. 21. 91-117

SPIETV. (4 de diciembre de 2017). *Como hacer un visor de cámara oscura con objetos domésticos* [Archivo de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=kW8jS8YNdX4>

University of Colorado. *Reflexión y refracción de la luz*. http://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_es.html

Vilches, A. y Furió, C. (1999). Ciencia, Tecnología, Sociedad: Implicaciones en la Educación Científica del Siglo XXI. *La enseñanza de las ciencias a las puertas del siglo XXI*. Congreso llevado a cabo en el I Congreso Internacional "Didáctica de las Ciencias" y VI Taller Internacional sobre la Enseñanza de la Física, La Habana, Cuba

Villareal Rodriguez, C. A. y Segarra Alberú, P. (2017). La experimentación para detonar el interés en la física. *Revista Latinoamericana de Física Educativa*. 11(2), 2311-2318