

Propuesta didáctica para el aprendizaje activo de la óptica geométrica

Teaching proposal for the active learning of geometrical optics

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Andrea Laura Fourty^{1,2,3}, Maximiliano Alejandro Albalá¹, Sergio Daniel Guzmán¹, Juan Ignacio Orell¹ y Fernando Miguel Rossi¹

¹Instituto de Educación Superior N° 28 Olga Cossettini, Sarmiento 2902, CP 2000, Rosario, Santa Fe. Argentina.

²Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250, CP 2000, Rosario, Santa Fe. Argentina.

³Instituto de Física Rosario, Bv. 27 de febrero 210bis, CP 2000, Rosario, Santa Fe. Argentina.

E-mail: fourty@ifir-conicet.gov.ar

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta didáctica para el aprendizaje activo de la óptica geométrica, dirigida a estudiantes de segundo año de educación secundaria. La misma combina actividades en tono lúdico, experimentales y de metacognición; relaciona a la física con cuestiones de la vida cotidiana y con otras disciplinas tales como la historia, la astronomía, la matemática, la biología, el arte. Todas las actividades pueden desarrollarse con materiales de uso cotidiano, accesibles y de bajo costo.

Palabras clave: Aprendizaje activo; Estrategias didácticas; Óptica geométrica.

Abstract

In this paper we present a teaching proposal for the active learning of geometrical optics, intended for second year students of secondary education. It combines ludic, experimental and metacognitive activities; and relates Physics with issues of daily life and other disciplines such as history, astronomy, mathematics, biology, art. All the activities can be achieved with affordable materials of daily use.

Keywords: Active learning; Teaching strategies; Geometrical optics.

I. INTRODUCCIÓN

Como estudiantes de los últimos años del Profesorado de Educación Secundaria en Física del Instituto de Educación Superior N° 28 Olga Cossettini, tenemos contacto con distintos alumnos de escuelas secundarias. Si bien sólo hemos realizado un análisis exploratorio del tema, hemos recogido muchos testimonios de parte de los adolescentes que consideran tanto a la física como a la matemática como obstáculos en su carrera, ya que son percibidas como materias difíciles de comprender, y ajenas a la realidad. Con la intención de mejorar esta situación nos pusimos como meta generar una propuesta didáctica que muestre a la física como un conocimiento accesible, interesante y útil. Una propuesta que muestre asimismo la conexión entre ésta y otras ciencias, así como también su relación con distintos aspectos de la vida cotidiana de los estudiantes de secundaria. Nos propusimos, además, enfocar el trabajo desde una visión sistémica e integrada. Visión en la cual, como en la propia realidad, se diluyan los límites entre disciplinas y se promueva un abordaje integral del tema en cuestión. Se busca así lograr un aprendizaje activo por parte de los estudiantes, entendiendo por aprendizaje activo al definido por Prince (2004):

El aprendizaje activo se define generalmente como cualquier método instructivo que involucra a los estudiantes en el proceso de aprendizaje. En resumen, el aprendizaje activo requiere que los estudiantes hagan actividades de aprendizaje significativas y piensen sobre lo que están haciendo.

Para lograrlo, se combinan tareas colaborativas, actividades en tono lúdico, trabajo experimental y espacios de reflexión que propicien un ambiente agradable en el aula, que posibiliten la elaboración colectiva

va de síntesis de ideas y de conceptos y que fortalezcan la relación entre el docente y los estudiantes. Pretendemos, además, mostrar a la ciencia como proceso y no como producto, con un enfoque desde la naturaleza de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2005a). El desarrollo de esta propuesta didáctica se realizó dentro del espacio curricular Física III, correspondiente a tercer año de la carrera de Profesorado de Educación Secundaria en Física. Para realizarla nos pusimos en el doble rol de aprender como estudiantes y pensarnos como docentes, de manera que, para nosotros mismos, se constituyó en una instancia formativa, ya que, tal como expresan Margalef García y Pareja Roblin (2008) “*Promover la colaboración del alumno(a) en tareas de enseñanza a compañeros y con compañeros*” constituye una estrategia didáctica que favorece el aprendizaje autónomo.

II. MOTIVACIÓN

Nuestra propuesta didáctica tenía que estar centrada en uno de los contenidos del espacio curricular que estamos cursando (Física III). Luego de una extensa búsqueda de bibliografía y de amplias discusiones, decidimos trabajar sobre un tema relacionado con la óptica geométrica, debido a que nos permite un abordaje sencillo de muchos temas relacionados con la vida cotidiana, haciéndolo significativo para el estudiante. Además, nos posibilita una interacción con otras disciplinas y su análisis histórico nos brinda una muy buena oportunidad de mostrar a la ciencia como construcción humana. Analizando el diseño curricular de la Provincia de Santa Fe para escuelas secundarias (Ministerio de Educación de la Provincia de Santa Fe, 2014), vimos que el tema *óptica geométrica* está presente en los contenidos de Físico-Química, correspondiente a 2^{do} año, ciclo básico, y en Física de 4^{to} año de la orientación en ciencias naturales. Con el fin de conocer cómo se están enseñando dichos temas y cuáles son las dificultades de los alumnos para su aprendizaje, diagramamos una encuesta que podía ser respondida por distintos docentes vía web a través de un formulario en línea. De manera exploratoria, solicitamos a 23 docentes en ejercicio de la ciudad de Rosario que respondieran la encuesta. El resultado no fue el esperado. En muchos casos los contenidos de óptica no llegan a enseñarse. Enfrentados a la falta de tiempo y recursos, muchos docentes priorizan otros contenidos, como la cinemática y la dinámica. Estos temas son considerados más importantes, en tanto son los que se requieren para abordar estudios superiores, tanto universitarios como terciarios. Esto manifiesta que en la enseñanza persiste una finalidad predominantemente propedéutica, a pesar de la proclamada intención de *ciencia para todos* o de *alfabetización científica* (Acevedo-Díaz, 2004). En los casos en los que los docentes enseñan óptica geométrica, lo hacen de manera tradicional, con explicaciones y desarrollo de esquemas en el pizarrón, debido a la carencia de materiales de laboratorio, así como a dificultades para poder utilizar el laboratorio perteneciente a la institución. En cuanto al contenido en sí, las mayores dificultades que presentan los estudiantes radican, por un lado, en comprender el concepto de “rayo”; y, por otro, en relacionar con la realidad los esquemas relativos a formación de imágenes en lentes y espejos.

De lo antedicho, según nuestro relevamiento exploratorio, el tema *óptica geométrica* no se enseña en parte de las escuelas secundarias de Rosario y, donde se hace, se restringe a una enseñanza tradicional, sin desarrollo de tareas experimentales ni relaciones socioculturales. Por eso, nos parece que la propuesta que presentamos puede ser motivadora, para que los docentes se apropien de ella y la adapten a sus cursos.

Si bien en la bibliografía se encuentra una amplia variedad de propuestas didácticas sobre óptica geométrica (Aleman, 2015, Colombo, 1990, Krapas, 2008, Salinas, 1999, entre muchas otras), la presentada en este trabajo es diferente de todas ellas, ya que se aborda desde una mirada sistémica y multidisciplinar, incluyendo interacciones con la historia, la astronomía, la matemática, el arte y la biología.

III. LINEAMIENTOS GENERALES DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

Nuestra propuesta está pensada para ser trabajada con estudiantes de segundo año de educación secundaria, durante 8 clases de dos horas cátedra cada una. Es una introducción a la óptica geométrica, no incluimos actividades sobre espejos, ya que esta última parte aún está en proceso de elaboración. En Santa Fe, puede incluirse en el espacio curricular Físico-Química o en Laboratorio de Ciencias Naturales, que es un espacio curricular articulado sin contenidos especificados, con objetivos tales como relacionar el conocimiento, la creatividad, la imaginación y la participación desde una mirada integradora de los campos disciplinares que componen las ciencias naturales como así también de su vinculación con otras áreas del conocimiento.

Como objetivos generales nos proponemos: a) desarrollar la capacidad de observación sistemática, así como el análisis y comunicación de ideas; b) valorar aportes de la ciencia para mejorar las condiciones de vida; c) valorar relaciones entre distintas ciencias y entre la ciencia y el arte; d) valorar el papel de la

ciencia en la comprensión de fenómenos de la vida cotidiana; e) valorar el conocimiento científico como un proceso de construcción sometido a evolución y revisión continua; f) lograr satisfacción y mejora de la autoestima a través del éxito en la comprensión de experiencias; g) comprender hechos, conceptos, procedimientos y teorías científicas, mediante el estudio sistemático de los fenómenos físicos propuestos; h) apreciar, como experiencia personal, el carácter cooperativo que posee el trabajo científico.

Con el fin de alcanzar estos objetivos se diseñaron diversas actividades, cada una de las cuales incluye una o más tareas:

- Que los estudiantes se hagan conscientes de sus ideas y logren expresarlas claramente, ya que la argumentación y la metacognición son herramientas importantísimas a la hora de aprender ciencias (Sardá Jorge y Sanmartí Puig, 2000);
- Que los estudiantes experimenten, observen, registren datos y los analicen de manera que realicen una investigación guiada por el docente sobre situaciones sencillas o problemas planteados por este último (Moya Segura y otros, 2011);
- Que los estudiantes apelen a experiencias vividas y reestructuren sus ideas en base nuevas experiencias ya que el aprendizaje “*tiene lugar mediante la organización y reestructuración imaginativa de experiencias anteriores, más que a través de la asimilación de nueva información*” (Driver, 1986);
- Que los estudiantes contrasten sus predicciones con actividades experimentales;
- Qué los estudiantes se enfrenten a una visión histórica y epistemológica del desarrollo de la ciencia, entendiendo a ésta como una construcción humana (Adúriz-Bravo, 2005b);
- Que los estudiantes resuelvan situaciones cotidianas, ya que la satisfacción de comprender un fenómeno cercano a la propia vida estimula el deseo de aprender (Campanario, 2000);
- Que se fomente el trabajo colaborativo, se propicien las discusiones entre pares y el debate, la comunicación y la metacognición (Adúriz-Bravo, 2011).

Se incluyen también actividades que resultan relevantes para comprender fenómenos cotidianos, otras que resaltan el papel humanístico y cultural de la ciencia, de manera que se amplíe el marco de análisis evitando un tratamiento reduccionista de los contenidos científicos (Meinardi y otros, 2010). La mayoría de las actividades pueden desarrollarse en el aula, salvo una de ellas que debe hacerse al aire libre. No requieren equipo específico de laboratorio, sino materiales accesibles y de bajo costo.

Durante el desarrollo de toda esta propuesta el papel del profesor es sumamente activo y debe ir conjugando distintas posturas didácticas ya que en algunos momentos debe dirigir la investigación, en otros enseñar por exposición proporcionando conocimientos verbales, debe buscar las oportunidades para generar conflictos cognitivos, o explicar y guiar a los estudiantes para que comprendan los modelos físicos (Pozo, 1997). Además el docente debe propiciar espacios de diálogo en el aula, estimular permanentemente a sus estudiantes para que expresen sus ideas antes y después de realizar las actividades, que hagan predicciones y que luego las comparen con lo observado, que ensayen explicaciones, que intercambien sus conocimientos y los contrasten con modelos aceptados con el fin de discernir entre los conocimientos validados de los erróneos (Gil y otros, 1999).

Los contenidos abarcados por esta propuesta están secuenciados, indicando un camino que pensamos que es necesario recorrer para lograr el aprendizaje deseado. Estos son:

- La evolución histórica de modelos referidos a la luz;
- La luz como rayo;
- Imágenes de fuentes luminosas;
- Fases de la Luna;
- Medición del tamaño del sol;
- Refracción de la luz;
- Ley de Snell;
- Lentes convergentes y divergentes;
- La cámara estenopeica;
- El ojo humano;
- Corrección de defectos en el ojo humano mediante la utilización de lentes;
- Técnicas para realización de pinturas empleadas a comienzos del Renacimiento.

IV. DESARROLLO DE LA PROPUESTA: SECUENCIA DE ACTIVIDADES Y ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA Y EVALUACIÓN

Se presentan a continuación las actividades propuestas, con sus correspondientes objetivos específicos, sugerencias y metodología de evaluación.

A. Actividad 1. Relación entre la luz, los objetos y la visión

Materiales: una bolsa de aproximadamente 15 cm x 20 cm realizada con una tela oscura gruesa, un pequeño juguete.

Objetivos: a) que cada estudiante comprenda que para ver un objeto es necesaria la luz; b) que haga explícito su modelo mental acerca de cómo vemos, entendiendo que éste será un modelo intermedio entre el saber intuitivo y el de la ciencia escolar (Rocha y otros, 2011); c) que adquiera nuevos términos de vocabulario específico.

Procedimiento: la actividad es individual. El pequeño juguete está colocado dentro de la bolsa oscura. El estudiante sostiene la bolsa de manera que la apertura de esta rodee a los ojos, sin que entre luz exterior y describe qué ve. Luego se aparta la bolsa de la cara y se mira dentro de ella (esta vez sí permitiendo que ingrese luz en la bolsa) y describe lo que ve. Se discute grupalmente qué sucedió. El estudiante realiza un esquema que explique lo que sucede para que pueda ver el juguete. Algunos estudiantes explican a sus compañeros el modelo teórico confeccionado.

Intervención docente: el docente tiene como meta guiar a los alumnos a pensar en cuáles son los elementos que interactúan para hacer posible la visión de un objeto. Hace preguntas que lleven a reflexionar sobre un modelo sistémico que integre la luz, los objetos y la visión. Motiva a los estudiantes a hacer explícitas sus propias ideas. A medida que los estudiantes ensayan sus explicaciones el docente aclara conceptos (sin corregir en esta etapa el modelo propuesto por el alumno) e incorpora vocabulario específico como: rayo, radiación, reflexión difusa, reflexión especular, absorción, sistema visual, células receptoras de la luz y el color.

Evaluación: luego de esta actividad el estudiante debe ser capaz de explicar su propio modelo sobre cómo vemos un objeto.

Comentario: esta es una actividad inicial para la detección de teorías implícitas y para introducción de conceptos y vocabulario específico.

B. Actividad 2. Evolución histórica de modelos explicativos sobre cómo vemos

Materiales: dos juegos de tarjetas. Un juego consiste en los nombres de referentes históricos que estudiaron el fenómeno de cómo vemos los objetos. Los nombres pueden ir acompañados de ilustraciones, pero no se deben incluir fechas (aunque éstas sí podrían estar incluidas en un juego que sólo maneje el docente). El segundo juego de tarjetas consiste en una descripción de los diferentes modelos propuestos por los referentes citados.

Objetivos: a) que el estudiante comprenda la naturaleza de la ciencia desde una mirada histórica; b) que el estudiante interprete a la ciencia como construcción humana, temporal, falible (Adúriz-Bravo, 2005a); c) que se estimule la formación de grupos de trabajo.

Procedimiento: esta es una actividad grupal, cooperativa, no competitiva. Se entrega el primer juego de tarjetas a los estudiantes que deben ordenarlas cronológicamente según algún criterio que irán acordando entre los participantes. Con ayuda del docente o consultas en internet, van corrigiendo el orden, siempre discutiendo sobre los criterios que utilizaron para ordenarlos. Luego, con el segundo juego de tarjetas, se asocia un modelo sobre la visión de los objetos con cada referente histórico. Si es necesario se reordenan las tarjetas con la ayuda del docente.

Intervención docente: el docente guía la actividad interviniendo en la etapa inicial lo menos posible. Luego estimula a las estudiantes a pensar en los distintos modelos científicos, hace hincapié en la naturaleza de la ciencia, muestra a la ciencia como construcción humana, cuyos modelos evolucionan. Se discute sobre los procedimientos seguidos para la construcción del conocimiento científico, se muestra el límite de validez de las teorías científicas, y su evolución, viendo las razones que llevaron a su aceptación o su rechazo. Se discute el modelo vigente en la actualidad.

Evaluación: los estudiantes deben ser capaces de explicar por qué una teoría científica es aceptada o rechazada. Los estudiantes deben ser capaces de comparar sus propias ideas con los modelos presentados, explicitando similitudes y diferencias.

Comentario: esta actividad proporciona una mirada sobre la historia y la evolución de las teorías científicas, mostrando al conocimiento como proceso y no como un producto (Adúriz-Bravo, 2005a), además la historia de la ciencia puede brindar oportunidades para trabajar sobre problemas y cuestiona-

mientos útiles para el proceso de enseñanza (Iparraguirre, 2007). Asimismo, al ser una actividad grupal cooperativa en tono lúdico, fortalece las relaciones entre compañeros y promueve la formación de grupos de trabajo (Aizencang, 2005). Como seguramente aparecerán muchos errores en el ordenamiento inicial de las tarjetas, se da lugar a ablandar la mirada sobre el error, dándole carácter de disparador de nuevos aprendizajes. Creemos importante que se aproveche esta actividad para hacer énfasis en las transformaciones que se han producido en las ciencias a lo largo de la historia, que se remarque el cambio de paradigma producido en el siglo XX, y, por encima de todo, que se muestre que la historia de la ciencia es la historia de sujetos que se hacen preguntas, que se interrogan.

C. Actividad 3. La luz se propaga en línea recta en un medio transparente homogéneo e isótropo

Materiales: puntero láser, lámpara con soporte y fuente de alimentación (se sugiere utilizar una lámpara de 12V, cuyo transformador esté cerca de la toma de electricidad y lejos de la lámpara y su soporte, por cuestiones de seguridad ante riesgo eléctrico), placa de poliestireno extruido (*Polyfan*) para utilizar como pantalla, dos esferas de poliestireno expandido (*Telgopor*) de 12 cm y 4 cm de diámetro, aproximadamente, con palillos incrustados para sostenerlas, sahumero, encendedor.

Objetivos: a) que el estudiante se apropie del modelo de la luz como un rayo que se propaga en línea recta, cuando lo hace a través de un medio transparente, homogéneo e isótropo; b) que comprenda que lo que vemos es la interacción de la luz con objetos en los que se refleja; c) que interprete y comprenda cómo se producen las fases de la luna y los eclipses.

Procedimiento: antes de comenzar la actividad se debe hacer una fuerte advertencia sobre los riesgos de apuntar con el láser a los ojos, ya que aún siendo de baja potencia, puede causar daño irreversible en la retina.

Se presenta el láser. Se pide a un alumno que, sin encender el láser, se posicione apuntando hacia determinado punto de la habitación. Se discute con los demás estudiantes si está haciendo lo correcto y se analiza por qué. Se pide a alguien que haga un esquema en el pizarrón. Naturalmente por la experiencia de la vida cotidiana, asumimos que la luz del láser, aunque no la veamos, va a tener una trayectoria recta. Se enciende el láser y se comprueba. Se pregunta: ¿por qué sólo se ve el puntito sobre la pared y no toda la trayectoria del rayo? ¿Qué es necesario hacer para ver la trayectoria del rayo? Utilizar el humo del sahumero para verlo. Mientras que la luz del láser llega a un solo punto sobre la pared, la lámpara ilumina todo de manera más suave. Los estudiantes hacen un esquema en el que expliquen cómo es el rayo luminoso del láser, cómo es el de la lamparita, cómo es el de una linterna. Observar sombras. Se presenta como situación problemática la explicación de las fases de la Luna, los eclipses de Sol y de Luna. Experimentando con las sombras de las esferas y la lámpara se simulan estas situaciones. Se ensayan esquemas explicativos.

Intervención docente: en esta actividad prevalece la voz del docente ya que debe enseñar los límites, alcances y postulados de la óptica geométrica. Debe explicar que cuando la luz interactúa con la materia a una escala macroscópica; su comportamiento puede representarse empleando un modelo geométrico de rayos. El concepto de rayo luminoso permite pensar a la luz propagándose con una trayectoria rectilínea. El medio transparente a través del cual la luz se propaga se caracteriza a través de su índice de refracción. Un medio transparente homogéneo desde el punto de vista óptico es aquel cuyo índice de refracción es homogéneo. No vemos la luz sino su interacción con otros objetos, por eso no vemos el rayo del láser, sino sólo el puntito cuando se produce reflexión difusa en la pared. Para ver la trayectoria del rayo láser, es necesario poner pequeñas partículas en el aire que lo reflejen, como las producidas por el humo del sahumero. Cuando un objeto opaco se interpone a los rayos de luz, los absorbe y se producen sombras. Se relacionan las sombras con lo que sucede en los eclipses de Sol y de Luna, y para comprender las fases de la Luna.

Evaluación: a través de los diferentes esquemas explicativos sobre cómo se producen los eclipses y sobre las fases de la luna, se evalúa si los estudiantes comprendieron el concepto de rayo luminoso, de objetos opacos y transparentes, de reflexión difusa.

Comentario: esta actividad es para realizar con toda la clase, tiene una fuerte presencia de la voz del docente, está pensada para que partiendo del saber intuitivo y de las experiencias cotidianas ya vividas, se construyan conceptos que finalmente permiten comprender situaciones del mundo que nos rodea.

D. Actividad 4. Sombras e imágenes de la fuente luminosa

Materiales: Trozos de cartón de aproximadamente 15 cm x 15 cm con orificios de diversas formas y tamaños, variando entre los 2 cm y 1 mm. Al menos dos lamparitas con distinta forma (una de tipo helicoidal de bajo consumo, una incandescente) con sus respectivas bases y fuentes de alimentación. Una placa de *Polyfan* para utilizar como pantalla.

Objetivos: a) que el estudiante observe la imagen de la fuente luminosa a cuando la luz pasa a través de orificios pequeños; b) que el estudiante comprenda que el fenómeno observado puede explicarse con el concepto de rayo luminoso.

Procedimiento: se interponen entre la lámpara y la pantalla distintos cartones, comenzando con los agujeros más grandes. En cada caso es importante que los estudiantes predigan qué van a observar antes de encender la lámpara y que luego contrasten sus predicciones con lo observado.

Intervención docente: el docente guía la actividad confrontando la predicción con lo observado y alienta a los estudiantes para que presenten sus explicaciones e interpretaciones. Explica que la zona de penumbra se debe al tamaño de la fuente luminosa. Cuando la actividad se realiza con los cartones con orificios pequeños, el hecho de que aparezca la imagen de la fuente luminosa suele ser inesperado. El docente estimula a los estudiantes a que prueben con diferentes orientaciones de la lámpara hasta estar seguro que todos ven la imagen de la lámpara proyectada sobre la pantalla y logren comprender por qué se observa esto.

Evaluación: se muestran fotografías de las sombras a través de hojas de los árboles tomadas en días normales y en días de eclipse de sol. Los estudiantes deben ser capaces de identificar cuál es la fuente luminosa cuya imagen se proyecta. Los estudiantes deben ser capaces de realizar un esquema donde se muestre el camino de los rayos y se explique cómo se forma la imagen de la fuente.

Comentario: es una actividad para trabajar en grupo, constituye el pilar sobre el que se desarrollan las siguientes prácticas.

E. Actividad 5. Medición del tamaño del sol

Materiales: un cartón con un orificio pequeño realizado con un alfiler, regla.

Objetivos: a) que el estudiante ponga en práctica lo aprendido en la actividad anterior; b) que utilice las propiedades de triángulos semejantes aprendidas en Matemática para medir el diámetro del Sol, sabiendo que su distancia a la Tierra es de 150.000.000 km.

Procedimiento: se interpone el cartón con un pequeño orificio entre el sol y el suelo. Se formará en el suelo la imagen del Sol. Se realiza un esquema de los rayos. Se observa que los ángulos formados por los rayos que atraviesan el agujerito son iguales por ser opuestos por el vértice, por lo que puede considerarse al triángulo formado por los rayos extremos que llegan al orificio y el diámetro del Sol semejante al formado por los rayos extremos que salen del orificio en el cartón y el diámetro de la imagen sobre el suelo. Aplicando propiedades de triángulos semejantes, midiendo el diámetro de la imagen y sabiendo la distancia Tierra-Sol se calcula el diámetro del Sol.

Intervención docente: los estudiantes trabajan en forma autónoma. El docente puede retomar aquí el tema de la zona de penumbra. El docente puede considerar trabajar sobre los errores de medición y su tratamiento.

Evaluación: si los orificios son de distinto tamaño, manteniendo la distancia suelo-cartón ¿cambia el tamaño de la imagen? ¿Qué pasa si el orificio no es pequeño?

Comentario: esta actividad es para hacer en grupos pequeños, debe realizarse al aire libre durante un día soleado, lo más cerca posible del mediodía solar. Da lugar a dialogar sobre los límites de la óptica geométrica, relatando lo que sucede cuando el orificio es aún más pequeño y se presenta el fenómeno de difracción, el cual sólo puede ser explicado pensando a la luz como una onda (óptica física).

F. Actividad 6. La moneda que aparece

Materiales: Un vaso plástico opaco con una moneda pegada al fondo y una jarra con agua.

Objetivos: a) que el estudiante comprenda que el fenómeno observado puede explicarse con el concepto de rayo luminoso; b) que observe que la luz cambia de dirección cuando pasa de un medio transparente a otro con distinto índice de refracción.

Procedimiento: un estudiante se para frente a un vaso con una moneda pegada al fondo de manera que la moneda quede hacia él (figura 1). Sin moverse aleja lentamente el vaso hasta que el borde del mismo oculte totalmente la moneda. Aún sin moverse, como congelado en esa posición, observa el vaso mientras un compañero lo llena con agua. Se describe lo que sucede. Se ensaya una explicación.

Intervención docente: el docente expone ejemplos de la vida cotidiana: la cuchara que parece quebrada en el vaso con agua, las cosas parecen estar en otro lugar cuando se las mira a través de un vidrio biselado, etc. El docente estimula a los alumnos a pensar y graficar cómo son las trayectorias de los rayos cuando no se ve la moneda y qué debería pasar para que se vea cuando el vaso tiene agua. La luz del ambiente incide sobre la moneda. Parte de la luz es absorbida por la moneda y parte es reflejada en todas direcciones. Una fracción de la luz reflejada incide en nuestro ojo y por eso podemos ver la moneda. Al desplazar el vaso hacia adelante el borde del vaso se interpone entre los rayos de luz que salen de la mo-

neda y nuestro ojo por eso dejamos de verla. Pero al agregar agua al vaso, la luz viaja un trayecto por agua y un trayecto por aire. Cuando la luz pasa de un medio transparente a otro se produce un fenómeno llamado refracción que hace que el rayo de luz se quiebre y cambie su dirección de propagación. De esta manera un rayo que propagándose sólo por aire no llegaría a nuestros ojos, cambia su dirección al pasar del agua al aire y así logra llegar.

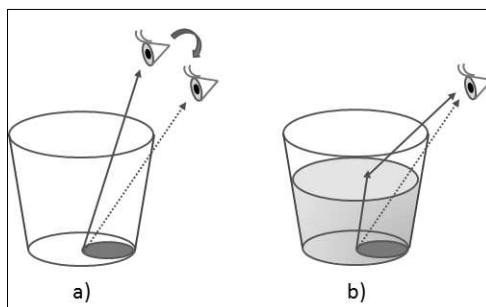


FIGURA 1. Esquema que representa: a) cómo la moneda deja de verse cuando el borde del vaso impide el paso de los rayos de luz que ésta refleja hacia el ojo, y b) cómo es posible volver a verla debido a la refracción de la luz cuando el vaso se llena con agua.

En los días calurosos, el aire sobre la tierra suele estar a mayor temperatura que el aire por encima. Esto hace que el aire tenga diferentes densidades. La luz al atravesarlo se curva suavemente debido a que actúa como si atravesase distintas capas de materiales ligeramente diferentes, produciéndose refracción en cada cambio. Debido a esto se producen espejismos y vemos cielo reflejado a lo lejos en el camino, lo que nos da la sensación de que a lo lejos hay agua.

Evaluación: los estudiantes deben ser capaces de realizar un esquema con las trayectorias de los rayos en cada caso.

Comentario: esta actividad es para hacer en grupos pequeños.

G. Actividad 7. Un rayo de luz cambia su trayectoria cuando se propaga a través de medios transparentes con diferente índice de refracción

Materiales: pecera, agua, gotas de leche, puntero láser, sahumero, encendedor.

Objetivos: a) que el estudiante observe (y eventualmente mida) cómo la luz cambia de dirección cuando pasa de un medio transparente a otro con distinto índice de refracción; b) que identifique el ángulo crítico cuando la luz pasa de un medio de mayor a uno de menor índice de refracción; c) que observe y comprenda la reflexión total interna; d) que verifique la Ley de Snell (en el caso en que el docente decida incorporar mediciones).

Procedimiento: se llena la pecera con agua a la que se agrega unas gotas de leche. Esto hará que se forme una solución coloidal y que el rayo, al ser reflejado por las minúsculas partículas en suspensión, pueda verse. A la vez se produce humo con el sahumero en la zona superior (o lateral, según el caso) de la pecera para ver el rayo en el aire.

Primera parte: desde un medio a otro con mayor índice de refracción. Se hace incidir el rayo láser perpendicularmente a la superficie del agua. Se observa qué sucede con el rayo en el agua. Se repite para distintas inclinaciones. Si se quiere dar un carácter cuantitativo a esta actividad, pueden medirse los ángulos incidentes y refractados con respecto a la normal de la superficie de separación de dos maneras. A) Se toman fotografías con un teléfono celular, o B) Se coloca una hoja de papel debajo del recipiente con agua, se dibuja su contorno, se apunta con el láser de costado, rasante al papel, de manera que se pueda ver la trayectoria del láser sobre el papel. Se marcan algunos puntos sobre la trayectoria, el punto de incidencia y de salida del haz. Se repite para distintos ángulos utilizando lápices de distintos colores. Al retirar el recipiente se completan las líneas con una regla y se miden los ángulos con la normal a la superficie. En este caso, puede realizarse una tabla con las mediciones y verificar la ley de Snell (o aplicar dicha ley para medir el índice de refracción del agua).

Segunda parte: desde un medio a otro con menor índice de refracción. Se repite el procedimiento pero esta vez haciendo incidir el rayo desde un lateral de la pecera para observar qué sucede cuando el haz sale al aire. Se observa que para un dado ángulo ya no hay rayo que emerja al aire (ángulo crítico). A partir de ese ángulo se observa reflexión total interna.

Intervención docente: introduce términos como rayo incidente, rayo refractado, refracción, Ley de Snell, ángulo crítico, reflexión total interna. Guía a los alumnos en la realización sistemática de las observaciones. La luz viaja en línea recta cuando lo hace por un medio transparente homogéneo e isótropo. Por

eso podemos fácilmente predecir dónde aparecerá el punto rojo cuando apuntamos con el láser hacia la pared. Pero si cambia el medio por el que se propaga la luz, parte del rayo se refleja y parte del rayo continúa propagándose por ese otro medio cambiando su dirección (se dice que se refracta) y su velocidad de propagación. Para un observador situado en un medio menos denso, como el aire, un objeto situado en un medio más denso parece estar más cerca de la superficie de separación de lo que está en realidad.

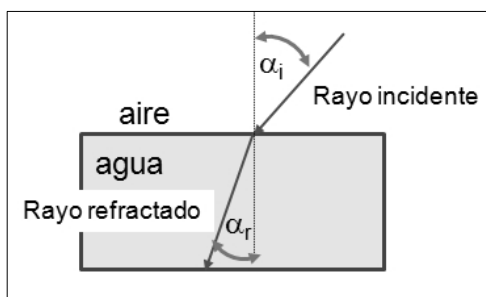


FIGURA 2. Esquema en el que se muestran los ángulos que forman el rayo incidente y el rayo refractado con la normal a la superficie de separación de los dos medios cuando la luz pasa de un medio con menor índice de refracción a un medio con mayor índice de refracción (por ejemplo del aire al agua).

La relación entre los ángulos que forman el haz incidente y el haz refractado con la normal a la superficie de separación depende de los medios por los que se propague la luz (aire-agua, aire-vidrio, agua-aceite, etc.) Esta relación se conoce como ley de Snell.

La ley de Snell afirma que el producto del índice de refracción del primer medio y el seno del ángulo de incidencia de un rayo es igual al producto del índice de refracción del segundo medio y el seno del ángulo de refracción. El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación de los medios en el punto de incidencia están en un mismo plano. Si un rayo incide de forma oblicua sobre un medio con un índice de refracción mayor, se desviará hacia la normal, mientras que si incide sobre un medio con un índice de refracción menor, se desviará alejándose de ella. Los rayos que inciden en la dirección de la normal son reflejados y refractados en esa misma dirección. Por ejemplo, si uno está de pie en una piscina y mira hacia abajo, ve sus piernas más cortas y más cerca de la superficie. Esto se debe a la refracción de la luz. Si se intenta pescar con un arpón, se debe tener esto en cuenta, ya que se verá al pez en una posición diferente de la que se encuentra en realidad.

Evaluación: ¿Es posible imaginar un dispositivo que transmita toda la luz sin perder energía? (fibra óptica). La fibra óptica es una aplicación práctica de la reflexión total interna. Cuando la luz entra por un extremo de un tubo macizo de vidrio o plástico, puede verse reflejada totalmente en la superficie exterior del tubo y, después de una serie de reflexiones totales sucesivas, salir por el otro extremo. Es posible fabricar fibras de vidrio de diámetro muy pequeño, revestirlas con un material de índice de refracción menor y juntarlas en haces flexibles o placas rígidas que se utilizan para transmitir imágenes. Los haces flexibles, que pueden emplearse para iluminar además de para transmitir imágenes, son muy útiles para la exploración médica, ya que pueden introducirse en cavidades estrechas e incluso en vasos sanguíneos.

Comentario: esta actividad puede ser meramente cualitativa, o se pueden realizar mediciones de los ángulos que forman los rayos incidentes y refractados con la normal a la superficie del agua.

H. Actividad 8. Lentes

Materiales: lentes de anteojos descartados (es necesario contar con distintos tipos, de personas miopes y con hipermetropía), lupas, puntero láser, hojas plastificadas con líneas paralelas marcadas, perfiles de lentes, un marcador para pizarra.

Objetivos: a) que el estudiante observe cómo las lentes desvían los rayos; b) que distinga entre lentes convergentes y divergentes; c) que identifique los focos de una lente; d) que relacione la curvatura de la lente con la localización del foco; e) que relacione la curvatura de la lente con su comportamiento como convergente o divergente; f) que comprenda el significado de los típicos esquemas de rayos y lentes.

Procedimiento:

Primera parte: se observan las lentes de anteojos descartados y las lupas. ¿Cómo se ve cuando se mira un texto cercano a través de ellas? Clasificarlas entre lentes que hacen que las letras se vean más chicas y las que hacen que se vean más grandes. Una vez clasificadas, examinarlas para ver qué tienen en común las lentes de cada grupo y qué diferencia las de un grupo de otro. Imaginar que se corta una rebanada del centro de las distintas lentes, dibujar las formas que tendrían dichas rebanadas. Observar diferencias entre los perfiles correspondientes a las lentes que achican de las que agrandan.

Segunda parte: se presentan los perfiles de lentes (que corresponden a las “rebanadas” que se dibujaron anteriormente) y se reparten diferentes perfiles a diferentes grupos. Se colocan sobre la hoja con líneas paralelas. Se ilumina con el láser haciendo “caminar” el haz sobre la línea hasta hacerlo atravesar la lente y trazar el rayo que sale de la lente. Se repite para rayos “caminado” por distintas líneas paralelas. Cada grupo comparte su resultado y explica lo observado.

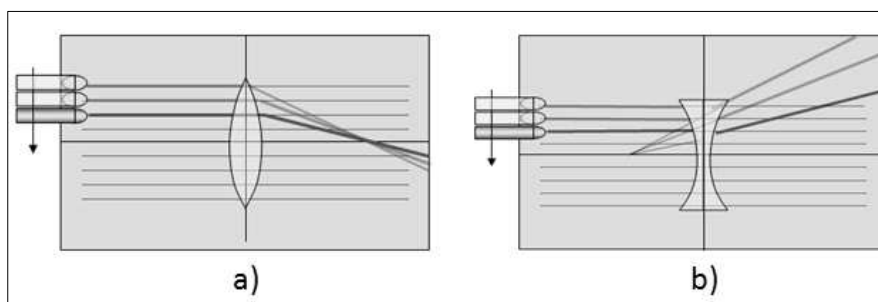


FIGURA 3. Procedimiento para ver cómo distintos tipos de lentes desvían los rayos: a) perfil correspondiente a una lente convergente; b) perfil correspondiente a una lente divergente.

Intervención docente: el docente introduce la segunda parte de la actividad diciendo que el hecho de saber cómo se desvían los rayos al pasar de un medio a otro, nos permite construir dispositivos que desvíen los rayos según nuestra necesidad. Se ha visto que la dirección del rayo refractado depende de la relación entre los índices de refracción de los medios materiales por los que se propaga y del ángulo de incidencia. Cambiando la curvatura de la superficie, se logra desviar los rayos de maneras muy diferentes. Se clasifican a las lentes como convergentes o divergentes, se define foco de la lente.

Evaluación: los estudiantes deben ser capaces de clasificar a las lentes como convergentes o divergentes. ¿Qué sucedería si construyera una lente con un material menos denso ópticamente que el aire? Esta pregunta puede hacerse utilizando elementos concretos, por ejemplo un recipiente pequeño de forma redondeada: el vidrio de una lámpara incandescente al que se le ha quitado la rosca y la parte interna, un cuenco de vidrio o el balón de laboratorio. Si se lo llena con agua, actúa como una lente convergente. En cambio, si aún lleno de agua se lo sumerge en la pecera con agua, no produce efecto sobre los rayos. ¿Qué sucede si se lo introduce vacío, dentro de la pecera, evitando que entre agua en el mismo?

Comentario: los perfiles de las lentes hechos en acrílico o vidrio son difíciles de conseguir, aunque muchas escuelas los tienen formando parte de algún equipo de laboratorio. Pueden realizarse en forma casera utilizando gelatina sin sabor (incolores), pero disuelta con muy poca agua para que quede firme (10% del valor sugerido en el envase). Se deja solidificar en un recipiente de base plana, se desmolda sobre un film y se corta con vasos o cortantes de repostería dándole las formas correspondientes a lentes convergentes o divergentes. La única desventaja de esta manera de realizar los perfiles de lentes es que se deben mantener fríos hasta el momento de la clase, y no pueden reutilizarse. Entre sus ventajas está la accesibilidad, el bajo costo y el hecho de que, si se le agregan gotas de leche a la gelatina mientras no ha solidificado, puede verse la trayectoria del rayo dentro de la lente.

I. Actividad 9. El ojo de lata. El ojo humano

Materiales: un “ojo de lata” construido con una lata de conservas a la que en la base se hace un orificio de 1cm de diámetro. El otro extremo se cubre con papel de calcar, puede rodearse con cartulina negra o goma para que pueda apoyarse en el ojo sin que entre luz externa. El orificio de la base se cubre con al menos tres cartoncitos con orificios de diferentes diámetros, pequeños, realizados con un sacabocado. Estos cartones se pegan de un borde de manera que puedan intercambiarse. Láminas con gráficas de ojo humano normal, miope e hipermetrope.

Objetivos: a) que el estudiante comprenda cómo se forma la imagen en el ojo humano; b) que identifique cómo se corrigen algunos defectos del ojo humano mediante la utilización de lentes.

Procedimiento: se observa a través del ojo de lata. Se describe cómo cambia la imagen a medida que se utiliza un cartoncito con el orificio más pequeño. Se realiza un diagrama que explique lo que se observa.

Intervención docente: a partir de la observación realizada por los alumnos, el docente explica cómo se forma la imagen. Un dispositivo similar, conocido como cámara estenopeica, fue utilizado para las primeras fotografías. El docente explica cómo funcionaban dichos artefactos. Se muestran láminas del ojo humano con sus diferentes partes y funciones, para lo cual se apela a conocimientos de la biología. Se presentan algunos defectos que puede tener este órgano fotorreceptor y se estimula a que los estudiantes propongan cómo las lentes pueden corregir la miopía y la hipermetropía.

Evaluación: observar los anteojos de alguno de los presentes y decir si dicha persona es miope o hipermetrope.

Comentario: sería interesante proponer como proyecto adicional la construcción de una cámara estenopeica y utilizarla para hacer una fotografía “a la antigua”.

J. Actividad 10. El conocimiento secreto

Materiales: proyector para mostrar un documental disponible en la web, una lupa, una placa de *Polyfan*, papel, lápiz, cinta de enmascarar.

Objetivos: a) que se establezcan interacciones entre la física y el arte; b) que el estudiante comprenda y verifique cómo puede utilizarse una lupa para proyectar imágenes sobre una pantalla.

Procedimiento:

Primera parte: se proyecta el video: “El conocimiento secreto” (Hockney, 2013).

Segunda parte: se toma la lupa frente a una ventana y la placa de *Polyfan*, se desplaza esta última hasta que sobre ella, la lupa proyecte una imagen. Se observa y se describe la imagen. Si es posible, se pega con la cinta de papel una hoja sobre la pared, de manera que usando la lupa, sobre la hoja quede proyectada la imagen de lo que se ve a través de la ventana. Utilizando como guía la imagen proyectada, se dibuja el paisaje sobre la hoja.

Intervención docente: el documental “El conocimiento secreto” está realizado con base en el libro del año 2001 del pintor y fotógrafo inglés David Hockney. Dicho libro fue el resultado de una ardua investigación y demostró que aparatos ópticos como la cámara oscura (o cámara estenopeica) y las lentes habrían supuesto un cambio radical en la naturaleza de la pintura desde comienzos del Renacimiento. Sería interesante ver este documental junto con docentes de arte, para que sus saberes aporten a la reflexión sobre este tema. Luego de ver el documental se reproduce la situación utilizando la lupa y la placa de *Polyfan*, y luego se intenta proyectar la imagen de lo que se observa, por ejemplo, a través de la ventana, sobre una pared en la que se ha pegado un papel. Se dibuja el paisaje, según se supone que hacían los pintores al comienzo del Renacimiento. Esto también puede hacerse utilizando una gran cámara oscura (o estenopeica). El pequeño orificio de la cámara oscura deja pasar sólo algunos rayos, generando una imagen que gana nitidez pero pierde luminosidad a medida que el mismo es más pequeño. La lupa, al ser una lente convergente, concentra todos los rayos formando así una imagen con las mismas características (pequeña, invertida) pero más intensa.

Evaluación: a partir de lo observado en el documental y de lo observado sobre cómo se forman las imágenes utilizando una cámara oscura o una lupa, describe algunas características de las pinturas que permitieron a David Hockney suponer el uso de este tipo de dispositivos para las obras del comienzo del Renacimiento.

Comentario: tener en cuenta que el documental es largo, dura 1h 15 min, aproximadamente.

K. Evaluación global

En esta propuesta didáctica se ha presentado una variedad de recursos destinados a que los estudiantes puedan ampliar sus conocimientos de un tema relacionado con la óptica haciendo uso de la observación, la reflexión, la experimentación, la exploración, fomentando el trabajo grupal. La evaluación de estas actividades es del tipo “incrustada” concibiendo a la misma como parte del aprendizaje y por lo tanto continua, global, guardando ilación y coherente en profundidad con las actividades realizadas en el aula. Para llevarla a cabo es necesario un diálogo permanente del docente con los estudiantes así como criterios claros y explícitos de valoración de estas tareas (Cárdenas Salgado y Zapata Castañed, 2013). Se propone, como evaluación global, que los alumnos realicen un mapa conceptual de lo aprendido.

V. CONCLUSIONES

Hemos desarrollado una propuesta didáctica que pretende lograr un aprendizaje activo por parte de los estudiantes, combinando actividades lúdicas y experimentales, espacios de reflexión colectiva e individual, así como de metacognición mediante trabajo colaborativo. Se ha abordado la física desde su relación con otras disciplinas tales como la historia, la astronomía, la matemática, la biología y el arte.

Somos conscientes de que esta propuesta puede parecer extensa, pero nos guió el propósito de que esté formada por un conjunto de actividades secuenciadas, que tracen una línea conceptual completa y útil a la hora de ser llevada al aula. El docente puede ampliarla o recortarla, adaptándola a su escenario educativo y a su propio perfil. Las actividades propuestas pueden desarrollarse sin necesidad de un espacio de laboratorio, ni de instrumental específico, sino con materiales de uso cotidiano, accesibles y de bajo costo.

REFERENCIAS

- Acevedo-Díaz, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1, 3–16. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92010102> Sitio consultado en mayo de 2017.
- Adúriz-Bravo, A. (2005a). *Una introducción a la Naturaleza de la Ciencia: La Epistemología en la enseñanza de las Ciencias Naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Adúriz-Bravo, A. (2005b). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecne, Episteme y Didaxis*, (Extra), 23–33.
- Adúriz-Bravo, A. (2011). Desde la enseñanza de los “productos de la ciencia” hacia la enseñanza de los “procesos de la ciencia”. *Cuadernillos de actualización para pensar la Enseñanza Universitaria*, Universidad Nacional de Río Cuarto, 6(3), 1–18.
- Aizencang, N. (2005). *Jugar, aprender y enseñar: relaciones que potencian los aprendizajes escolares*. Buenos Aires: Manantial.
- Aleman, A. (2015). Trabajo Práctico de laboratorio de reflexión en el aula. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(Extra), 683–689.
- Campanario, J. M. (2000). El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 369–380.
- Cárdenas Salgado, F. A. y Zapata Castañed, P. N. (2013). Aprendizaje activo y evaluación auténtica. *IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 9–12 de septiembre de 2013, Girona.
- Chirino, S. A., Rodríguez, N. P. y Rodríguez, G. A. (2015). Aprendizaje de contenidos de óptica geométrica utilizando software didáctico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(Extra), 37–44.
- Colombo de Cudmani, L., Salinas de Sandoval, J. y Pesa de Danon, M. (1990). Paradigmas en el aprendizaje de la óptica física. Resultados de una experiencia piloto. *Revista de Enseñanza de la Física*, 3(1), 62–73.
- Ministerio de Educación de la Provincia de Santa Fe. (2014). Diseño Curricular de Educación Secundaria Orientada. <https://www.santafe.gov.ar/index.php/educacion/content/download/218364/1135170/file/Anexo%20III%20Resol%202630-14.pdf> Sitio consultado en mayo de 2017.
- Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3–15.
- Gil Pérez, D., Furió Más, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez –Torregrosa., J., Guisasola, J., González, E., Dumas–Carré, A., Goffard, M. y Pessoa de Carvalho, A. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311–320.
- Hockney, D. (2001). *El Conocimiento Secreto*. Barcelona: Destino.
- Hockney, D. (2013). El conocimiento secreto [video] https://www.youtube.com/watch?v=oqDwBXG_EdU Sitio consultado en julio de 2017.
- Iparraquirre, L. M. (2007). Una propuesta de utilización de la historia de la ciencia en la enseñanza de un tema de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 423–434.
- Krapas, S. (2008). El Tratado sobre la Luz de Huygens y su transposición didáctica en la enseñanza introductoria de Óptica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 11(2), 49–60.

Margalef García, L. y Pareja Roblin, N., (2008). Un camino sin retorno: estrategias metodológicas de aprendizaje activo. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 22, 47–62. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=27418813004> Sitio consultado en mayo de 2017.

Meinardi, E., González Galli, L., Plaza, M.V. y Revel Chion, A. (2010). *Educación en Ciencias*. Buenos Aires: Paidós

Moya Segura, A., Chaves Sibaja, E. y Castillo Rodríguez, K. (2011). La investigación dirigida como un método alternativo en la enseñanza de las ciencias. *Revista Ensayos Pedagógicos*, 1(1), 115–132. Recuperado de <http://revistas.una.ac.cr/index.php/ensayospedagogicos/article/view/4484> Sitio consultado en junio de 2017.

Pozo, J. I. (1997). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.

Prince, M. (2004). Does Active Learning Work? A Review of the Research. *J. Engr. Education*, 93(3), 223–231.

Rocha, A. L., García de Cajén, S. B. y Domínguez Castiñeiras, J. M. (Comp.). (2011). *Materiales didácticos para la enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza en educación secundaria y bachillerato*. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

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

Sardá Jorge, A. y Sanmartí Puig, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 405–422.