

# Ideas clave para la modelización de fenómenos ópticos: absorción y emisión de fotones

Key ideas for optical phenomena modelling: photon emission and absorption

Arlet Orozco Marbello<sup>1\*</sup> y Rafael Amador-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios en Educación IESE, Universidad del Norte, Puerto Colombia, Colombia.

\*E-mail: [arleto@uninorte.edu.co](mailto:arleto@uninorte.edu.co)

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

## Resumen

Se presentan algunas ideas clave construidas desde el desarrollo de una tesis doctoral en curso cuyo objetivo es analizar las modificaciones que emergen en los modelos explicativos de fenómenos ópticos de los profesores expertos al promover en ellos una enseñanza basada en la modelización. Estas ideas se integran dentro de una propuesta formativa que se implementa en lo que se ha denominado una comunidad de desarrollo profesional de docentes de física. La secuencia didáctica aquí presentada ha sido construida considerando una idea esencial sobre el modelo de absorción y emisión de luz, sin embargo, el documento original incluye cinco ideas para promover modelos explicativos sobre fenómenos ópticos que ayuden a comprender ideas sobre la naturaleza de la luz desde la dualidad onda-partícula. Además, la aplicación de las actividades contenidas en esta secuencia propone hechos para fortalecer sus habilidades epistémicas, por ejemplo, describir, predecir e intervenir sobre fenómenos ópticos en su contexto actual. La propuesta formativa está fundamentada en una enseñanza modelo-teórica porque ofrece insumos pertinentes para el estudio, en este caso, de fenómenos ópticos que los profesores orientan en el nivel secundario.

**Palabras clave:** Óptica; Modelización; Profesores.

## Abstract

It is presented some key ideas that had construct around a doctoral thesis in course whose central objective is to analyze the modifications that emerge in explanatory models about optical phenomena of in-service teachers to promote a modelling- based teaching. These ideas are integrated within a formative proposal that are implemented in it has been designated a physics' teachers professional development community. The didactic sequence presented here has been constructed considers one key idea about light absorption and emission model, nonetheless the original document has five ideas to promote explanatory models about optical phenomena that can help understand ideas about light nature since wave-particle duality. Furthermore, the application of activities contained in these sequences it proposes facts to strengthen your epistemic abilities for example describe, predict and intervene about optical phenomena in your current context. The formative proposal considers approaches about model-based teaching because it offers relevant supplies to teaching optical phenomena in secondary level.

**Keywords:** Optics; Modelling; Teachers.

## I. INTRODUCCIÓN

La modelización se considera una de las actividades fundamentales en la enseñanza de la física y, por tanto, es allí donde se le debe otorgar un lugar central, la cual articulada a propuestas de trabajo contemporáneas, como la "actividad científica escolar" desarrollada por Izquierdo-Aymerich *et al.* (1999) se vincula fuertemente en una enseñanza que da sentido de mundo.

Desde la modelización se establecen espacios para robustecer conocimientos cargados de teoría epistemológicamente validada, por tanto, trabajar en el aula promoviendo la comprensión de un fenómeno físico, a partir de hechos del mundo considerados clave o “paradigmáticos” se facilita la interpretación de lo que ocurre en los contextos actuales, es decir, se promueven ambientes que permiten fortalecer los modelos explicativos sobre aquellos hechos que le son significativos a los sujetos (Amador-Rodríguez *et al.*, 2021; Besson 2009).

Recurriendo a los aportes de Giere (1988), es posible afirmar que los modelos científicos apoyan las explicaciones científicas cuando se estudia un fenómeno. De acuerdo con el autor, un modelo se parece al fenómeno que se estudia en algunos aspectos, por lo cual es posible acercarse al fenómeno para describirlo, explicarlo, realizar predicciones sobre él e intervenirlo. Una enseñanza basada en modelos o modelo teórica ofrece al docente oportunidades de promover una ciencia auténtica y contextual.

Las investigaciones realizadas sobre la modelización en la enseñanza de la luz han focalizado su interés en prácticas experimentales asociadas a su naturaleza a partir de experimentos como la doble rendija y la construcción de espectroscopios (Savall *et al.*, 2014), modelos de rayos de luz (Raftopoulos *et al.*, 2005; Couso y Márquez, 2016), modelo ondulatorio de la luz (Yalcin *et al.*, 2008).

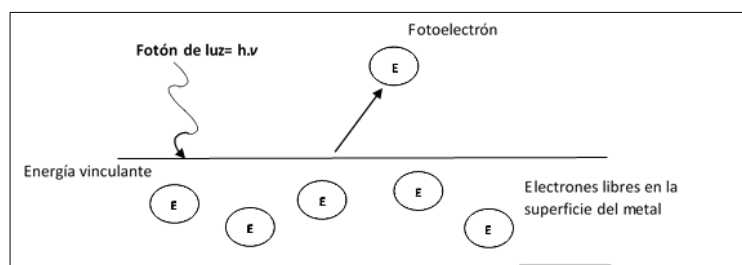
Desde el presente documento se pretende acudir a la modelización de fenómenos ópticos haciendo especial énfasis en aquellos relacionados con el modelo absorción y emisión de la luz para ayudar en el fortalecimiento del conocimiento disciplinar del docente de física en ejercicio, y de este modo contribuir a disipar la resistencia que puede presentar el maestro por abordar tal modelo, lo cual puede tener su origen en la falta de formación con respecto al tema en mención (Tuzón y Solbes, 2014).

### A. Modelización de fenómenos ópticos relacionados con la absorción y emisión de fotones.

En la física moderna, el estudio del fotón ha ocupado un número importante de investigaciones, a partir de la importancia que tiene para comprender y explicar el comportamiento cuántico de algunos fenómenos (Marini, Blesio y Godino, 2015).

Uno de los fenómenos cuánticos más conocidos es el explicado por Albert Einstein cuando en 1905 a partir del efecto fotoeléctrico marcó un episodio en el que se dio el avance hacia la comprensión de la dualidad onda-partícula dada su hipótesis sobre el fotón, que en un principio el llamó cuanto de energía. De acuerdo con Henriksen *et al.* (2018), abordar la dualidad onda-partícula de la luz propicia, espacios para el debate de aspectos epistemológicos de la física a partir del estudio de modelos científicos, así como sus fundamentos filosóficos. Antes de Einstein, el efecto había sido observado por otros científicos, pero estaban confundidos por el comportamiento porque no entendían completamente la naturaleza de la luz ya que hasta ese momento la teoría ondulatoria propuesta por Maxwell había tomado fuerza entre la comunidad científica.

Fenómenos actuales relacionados con la fotosensibilidad, por ejemplo, los cargadores solares para dispositivos móviles muy usados actualmente son una oportunidad para que se pueda estudiar la naturaleza de la luz y relacionarlo con lo experimentado por Einstein. El cargador solar es una fuente autónoma de energía portable que utilizan energía solar fotovoltaica (energía renovable que proviene del sol) que es capturada y recarga la batería interna del celular. Howell (2017) afirma que, en este caso, la luz cuya energía debe tener un valor específico, estimula la liberación de electrones de una superficie metálica sólida. De acuerdo con la autora, cada partícula de luz (fotón) choca con un electrón del material usando parte de su energía para “desalojar al electrón”. ¿Qué pasa con el resto de energía que no se usó para liberar el electrón? La energía restante del fotón se transfiere a la carga negativa libre llamada fotoelectrón.



**FIGURA 1.** Se muestra lo que ocurre cuando un fotón ( $h \cdot \nu$ ) choca un electrón (E), lo libera y se emite un fotoelectrón.

Para explicar el efecto, Marini, Blesio, y Godino (2015) establecen la siguiente analogía: Imagina los niveles de energía del átomo como escalones de una escalera y a un electrón en uno de tales escalones. Si al electrón llega energía (por medio de un rayo de luz, por ejemplo) para subir solo medio escalón, simplemente la deja pasar porque

no le alcanza para subir de escalón. Si la energía que le llega es la que necesita exactamente para subir de escalón la absorbe y salta, si le alcanza para subir dos escalones, también la absorbe y salta, y así de manera continua y sucesiva. La posición superior que alcanza el electrón sólo es momentánea (Howell, 2017). Cuando un electrón de un átomo salta a una órbita superior, el átomo se excita. Explican a la vez los autores citados que esto ocurre con los electrones de todos los átomos.

La frecuencia del fotón ( $\nu$ ) es proporcional a su energía, por tanto, si se considera que la energía emitida es igualmente proporcional con la constante de proporcionalidad  $h$ , la expresión matemática se expresa así (Savall *et al.*, 2014):

$$E = h \cdot \nu \quad (1)$$

Indudablemente el aporte de Einstein llevó a los físicos a pensar en la naturaleza de la luz y la estructura de los átomos de una manera completamente nueva que ayudó a describir cómo se comportan las partículas y las ondas en el mundo que no vemos, el de los átomos. A partir de todos los aportes de Einstein se han desencadenado eventos científicos que aún en la actualidad siguen vigentes y que además ayudan a estudiar la dualidad onda-partícula.

## II. IMPORTANCIA DE LA MODELIZACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA NATURALEZA DE LA LUZ

Cuando se enseñan los fenómenos ópticos los docentes no proponen a sus estudiantes situaciones que los inviten a pensar sobre la naturaleza de la luz (Raftopoulos, *et al.*, 2005), lo cual es imprescindible para razonar sobre el fenómeno y el rol o función de un modelo científico, así como las razones por las cuales no pueden explicar la totalidad de una teoría.

Por otro lado, se afirma que los fenómenos de la luz como contenido escolar en las aulas se enseña desde el modelo de ondas y el de partículas (Raftopoulos, *et al.*, 2005), sin hacer una extensión a fenómenos que indiquen que la luz no es ni onda ni partícula, sino que se comporta “como”. Esta cuestión genera problemas porque se incurre en una idea teórica sobre la luz de manera fragmentada, ya que se salta de manera automática entre fenómenos sin ahondar ni reflexionar sobre las razones que históricamente obligaron a usar los distintos modelos (Savall *et al.*, 2014; Yalcin *et al.*, 2008).

Los fenómenos ópticos están estrechamente relacionados con la vida cotidiana de los sujetos, por tanto, construir sus modelos teóricos (MT) integradores, abstractos, razonables y que generen enganche, es una de las tareas que corresponden a la investigación en la didáctica de las ciencias, por ende, involucrar a los docentes en prácticas de enseñanza basada en modelos, les ayuda a fortalecer el diseño de actividades de elaboración, revisión y refinación de modelos de sus estudiantes, no obstante, necesitan ellos mismos incorporar aspectos que favorezcan la reestructuración de sus modelos (Marzabal *et al.*, 2018). de tal manera que se propicien espacios para el desarrollo de una actividad científica auténtica.

## III. IDEAS CLAVE PARA MODELIZAR FENÓMENOS ÓPTICOS: ABSORCIÓN Y EMISIÓN DE FOTONES

El diseño de las actividades aquí presentadas parte una idea clave que considera a su vez subideas asociadas a lo macroscópico (lo que se puede percibir con los sentidos) y a lo microscópico (lo que se puede estudiar en el mundo atómico). De esta manera se propone un acercamiento a la comprensión del fenómeno a estudiar, que en este caso es lo que sucede con un cargador solar.

La situación “disparadora” seleccionada fue tomada de una publicidad realizada en una plataforma muy famosa en distribuciones mundiales y líder en ventas con el objetivo de identificar hechos que son del conocimiento de la mayoría de las personas y que además son veraces en el contexto actual: La promoción de un cargador solar para celulares y que además cuenta con una opción inalámbrica para recargar la batería de cualquier otro dispositivo móvil. La inclusión de tales dispositivos invita a pensar en aprovechar más la luz solar y evitar la superproducción de cargadores que requieran de energía eléctrica porque la naturaleza nos concede hacer uso de energía permitiendo ahorrar tiempo, dinero y disminuir la contaminación. Por ello los cargadores solares son una valiosa fuente de energía. A continuación, se presenta el diseño elaborado para la idea esencial seleccionada para presentar en esta publicación:

### A. Diseño de la Secuencia para los profesores participantes

Dossier N.º 2

Objetivo general: Construir el modelo de absorción y emisión de fotones.

Tiempo previsto: 2 semanas, sesiones de 2 horas.

*Idea clave* (interacción luz-materia): I1: Cuando la luz incide en un metal lo afecta de diferentes maneras. El metal responde al choque de la luz a través de diversos fenómenos ópticos: la luz es absorbida y reflejada.

*Situación disparadora*

Actualmente en la plataforma Amazone se promocionan los cargadores solares para recargar las baterías que con solo recibir poca luz solar puede recargar 100% el celular, PDA, MP3, tabletas e incluso las laptops. Cuando llega la luz solar al material del cual está hecho el cargador ¿Qué considera que ocurre? ¿Cómo explica el hecho de que pueda servir para recargar tu dispositivo celular?

Luego que los profesores participantes den respuestas a estas preguntas iniciales se propone realizar las siguientes actividades que ayudarán a estructurar el conocimiento sobre el fenómeno abordado.

*Subidea desde lo macroscópico*: Cuando la luz incide en un metal, este puede absorber su energía y emitir parte de ella.

**A.1. Actividad 1**

Algunos objetos metálicos como vasijas metálicas parecen “brillar” cuando la luz choca contra su superficie. ¿Puede explicar el “brillo” de esta superficie? ¿hay cambio en la temperatura del metal? A partir del choque con la luz con el metal, explique qué ocurre con la temperatura del objeto y las razones de ello.

*La actividad sugiere el acercamiento a un modelo de átomo que considere electrones libres en los distintos niveles de energía, de tal modo que el docente fortalezca sus conocimientos sobre las características de los metales.*

**A.2. Actividad 2**

Organizados en grupo revisen y debatan sus respuestas a cada una de las preguntas realizadas en las actividades 1. Lleguen a un consenso (si es posible) sobre la interacción de la luz con el metal. Escriban el consenso en el material entregado. Pueden incluir dibujos, esquemas, organizadores gráficos, o lo que consideren ayude a aclarar lo que quiere expresar.

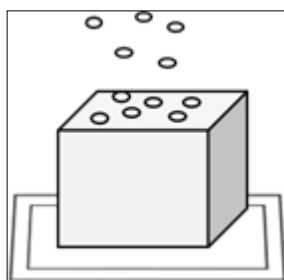
*Subidea desde lo microscópico*: Los fotones de luz al propagarse pueden chocar contra un material determinado (metal en este caso) interactuando con los átomos de este. De acuerdo al grado de vibración generado en los átomos, parte de los fotones pueden ser absorbidos ocasionando que el cuerpo aumente su temperatura.

**A.3. Actividad 3**

El siguiente instrumento fue elaborado para realizar una actividad práctica. Se vierten canicas sobre la superficie de una caja de cartón que tiene orificios en la parte superior e inferior. Observe lo que ocurre.

En la parte inferior de la caja se encuentra una bandeja plástica que indica cuantas canicas de las que entraron salen.

¿Qué nota con respecto a la salida de las canicas por la parte inferior?



**FIGURA 2.** Modelo de la caja usada en la práctica propuesta

*En este experimento, se ha provisto dentro de la caja algunos canales elaborados en cartón de tal modo que dificultan la salida de las canicas, aunque haya orificios igual que en la parte superior.*

Si comparamos las canicas con fotones de luz y la caja con un metal, explique el rol que tienen los orificios en la parte superior e inferior.

Explique la razón por la que considera que los fotones (canicas) ingresan a la caja no salen en la misma cantidad, aunque se agite la caja. ¿Qué quiere decir esto respecto a la luz que absorbe el metal?

*Se espera que los docentes relacionen este hecho con la absorción de la luz. En este aspecto es importante identificar las propiedades del metal en cuanto a la absorción de tal modo que no toda la luz absorbida es emitida.*

#### A.4. Actividad 4

Organizados en grupo revisen y debatan sus respuestas a cada una de las preguntas realizadas en la actividad 3. Lleguen a un consenso (si es posible) sobre la interacción de la luz con el metal. Escriban el consenso en el material entregado. Pueden incluir dibujos, esquemas, organizadores gráficos, o lo que consideren ayude a aclarar lo que quiere expresar.

Seguidamente den respuesta nuevamente a las preguntas de la situación disparadora.

*Subidea desde lo microscópico:* Las partículas de luz (fotones) chocan con un electrón del material usando parte de su energía para “desalojar al electrón”. La energía restante del fotón se transfiere a la carga negativa libre (fotoelectrón).

#### A.5. Actividad 5

En nuestra cotidianidad hemos tropezado alguna vez con una máquina expendedora de alimentos. Recordemos que esta máquina funciona a partir del depósito de un valor específico dependiendo del artículo que deseamos adquirir.

El mecanismo consiste básicamente en que una cantidad de dinero se “introduce” y un artículo “sale” de la máquina.

Explique qué sucede en cada caso si...

**TABLA I.** Información sobre acciones de una máquina expendedora de productos (modelo analógico).

Acción	Resultado
Se introduce la cantidad de dinero específica del producto.	
Se introduce una cantidad de dinero menor a la especificada en el producto.	
Se introduce una cantidad de dinero mayor a la especificada en la máquina.	
No se introduce dinero	

¿En qué se parecen estos hechos a lo que sucede con la luz al interactuar con un metal en el experimento anterior?

¿Qué representa la máquina? ¿Qué representa el dinero que ingresa?

¿Qué representa el producto que sale? En el caso que se devuelva dinero, ¿qué representan las vueltas?

#### A.6. Actividad 6

Ingresar al simulador PHET

<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=es>

**TABLA II.** Actividades con el simulador.

Indicaciones	Resultados
Ubica el botón de intensidad. Selecciona un elemento (lista desplegable parte superior derecha).	
Ubica el indicador de longitud de onda en la parte inferior al botón de intensidad.	
Verifica que este se encuentre en el final de la zona IR	
Mueve el indicador del botón de intensidad hasta que marque 50%. ¿Qué ocurre?	
Mueve el botón de intensidad hasta que el indicador marque 100%. ¿Qué ocurre?	
Ahora mueve lentamente el indicador de longitud de onda hacia la zona amarilla. ¿Qué pasa con el valor de la longitud de onda a medida que te desplazas?	
Sigue moviendo el indicador hasta la zona verde. ¿Qué ocurre? ¿Qué valor de longitud de onda marca? Observa detenidamente lo que ocurre. Realiza tus anotaciones.	
Manteniendo el valor de longitud de onda, mueve el indicador de intensidad hasta 50%. ¿Notas cambios? Explica.	
Manteniendo el valor de la intensidad, ahora mueve el indicador de longitud de onda hacia el color azul. ¿Qué ocurre con la longitud de onda? ¿Notas cambios? Explica.	
Manteniendo el valor de la longitud de onda, corre el indicador de intensidad hasta 100%. Describe los cambios que observas.	
Seguidamente corre el indicador de longitud de onda hacia la zona en la que finaliza el color azul. ¿Qué ocurre con la longitud de onda? ¿Qué otros cambios puedes notar?	
Ubica el indicador de corriente. Está en 0 (parte inferior central).	
¿Qué pasaría con el valor de la corriente si mantienes ese valor de longitud de onda y corres el botón de intensidad hasta 100%? Explica.	

Indicaciones	Resultados
Comprueba tu predicción. ¿Qué pasaría con el valor de la corriente si mantienes ese valor de intensidad y corres el botón de longitud de onda hasta la zona UV? Explica los cambios que se darían.	
Comprueba tu predicción. Si vas hasta el final de la zona UV, ¿qué cambios se apreciarían? ¿Por qué?	
Comprueba tu predicción. ¿De qué manera se explica que se genere corriente eléctrica a partir del desprendimiento de electrones del material?	
Describe las características del material que usaste para la simulación. Para ello puedes apoyarte buscando información como electronegatividad, estructura atómica, y otras características que consideres importantes tener en cuenta para que se dé el fenómeno.	

Luego de interactuar con la simulación ¿puedes explicar lo que ocurre cuando la luz interactúa con el material seleccionado? Ubica el botón opciones (parte superior izquierda). Selecciona la opción mostrar fotones y realiza nuevamente la simulación.

### A.7 Actividad 7

Responde:

¿Por qué la luz logra desprender electrones del material?

¿Qué influencia tiene en el fenómeno el cambio de intensidad de la luz?

¿Qué influencia tiene en el fenómeno el cambio de longitud de onda? ¿Qué significa esto en términos de energía?

¿Es posible representar esta relación a partir de una expresión matemática que ligue las variables anteriores? ¿Cuál sería esta expresión? Justifique su respuesta.

*Respuesta esperada para esta pregunta: De acuerdo con la ecuación de Planck, la energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de la luz.*

### A.8. Actividad 8

En consenso, respondan

- ¿Cómo se comporta la luz en estas situaciones? A partir de un dibujo o esquema proporciona aclaración sobre tus explicaciones.

-Escriban sus acuerdos. Recuerden incluir dibujos, esquemas, organizadores gráficos, o lo que consideren ayude a aclarar lo que quiere expresar.

Seguidamente, a partir de sus consensos, den respuesta nuevamente a las preguntas de la situación disparadora.

La propuesta formativa consta de tres dossiers. Se debe aclarar que los dossiers no. 1 y no. 3 se diseñaron con el mismo objetivo central. La diferenciación entre los dossiers se determina desde las actividades incluidas, ya que el primer dossier contiene actividades relacionadas con el fenómeno de la luminiscencia y el dossier no. 3 integra actividades en las que se puede evidenciar que la luz se comporta como onda y como partícula en algunas ocasiones a partir de fenómenos ópticos relacionados con la reflexión y la refracción estudiando la fibra óptica desde sus inicios.

## IV. CONSIDERACIONES FINALES

Al delimitar los bloques de actividades diseñados a partir de ideas clave en el desarrollo de este trabajo se pretende justificar metodológicamente el proceso para dar solución al problema investigado y responder al objetivo central del estudio, más que referir las maneras en que se deberían realizar actividades de este tipo. La implementación de la propuesta proveerá información que posteriormente será categorizada, clasificada y organizada, insumo para la investigación doctoral en curso.

## REFERENCIAS

Amador-Rodríguez, R., Insuasty, D., Méndez, M. y Márquez, E. (2021). Promover modelos explicativos sobre las interacciones químicas del felodipinocitocromo P450: una propuesta didáctica basada en la modelización. *Química nova*, 44, 1-9. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170784>

- Besson, U. (2009). Calculating and Understanding: Formal Models and Causal Explanations in Science, Common Reasoning and Physics Teaching. *Science & Education*, 19(3), 225–257. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9203-9>
- Couso, D. y Márquez, C. (2016). ¿Qué enseñar y aprender sobre luz? Mapa de progreso para el aula. *Revista Aula*, 249, 14-19. <https://ddd.uab.cat/record/149986>
- Giere, R. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Henriksen, E. K., Angell, C., Vistnes, A. I., y Bungum, B. (2018). What is light? *Science & Education*, 27(1), 81-111
- Howell, E. (2017). *Photoelectric Effect: Explanation & Applications*. <https://www.livescience.com/58816-photoelectric-effect.html>
- Izquierdo-Aymerich, M., Sanmartí, N., Espinet, M. y García, M. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias, Extra*, 79-92.
- Marini, S., Blesio, G., y Godino, M. (2015). *Modelo atómico de absorción y emisión de fotones*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2133/4905>
- Marzabal, A., Moreira, P., y Delgado, V. (2018). S203 La incorporación de la modelización como perspectiva de aprendizaje en el diseño de propuestas didácticas como estrategia para la innovación en el aula, en el contexto de la formación continua de profesores. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, Extra*, 1-7.
- Raftopoulos, A., Kalyfommatou, N. y Constantinou, C. (2005). The Properties and the Nature of Light: The Study of Newton's Work and the Teaching of Optics. *Science and Education*, 14, 649–673. <https://doi.org/10.1007/s11191-0045609-6>
- Savall F., Doménech, J. y Martínez, J. (2014). La introducción del concepto de fotón en bachillerato. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(2), 1-14.
- Tuzón, L. y Solbes, J. (2014). Análisis de la enseñanza de la estructura e interacciones de la materia según la física moderna en primero de bachillerato. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 28, 175-195.
- Yalcin, M., Altun, S., Turgut, U., y Aggöl, F. (2008). First Year Turkish Science Undergraduates' Understandings and Misconceptions of Light. *Science & Education*, 18(8), 1083–1093. <https://doi:10.1007/s11191-008-9157-3>