

DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/eitt.604385>

# Diseño y construcción de un microscopio elemental usando materiales de descarte y lentes para realidad virtual de Google Cardboard®

---

Lucy A. Valdez\*; Cesar A. Cabrera\*; Carlos A. Merino\*; Erika N. Bentz\*; Patricio F. Provasi\*

## Resumen

Este trabajo parte de la aplicación una serie de explicaciones conceptuales sencillas, como es el caso de la distancia focal, formación de imágenes reales y virtuales, sistema de lentes y microscopio y surge con la intención de aplicarlas utilizando materiales disponibles de fácil adquisición y muy bajo costo; permitiendo así su aplicación práctica en el aula.

En este proceso, aplicando estos conceptos elementales; se pueden apreciar otros no tan simples pero de suma importancia a la hora de obtener un funcionamiento óptimo del equipo, tales como la apertura del diafragma o el enfoque.

El microscopio diseñado y realizado se hizo con el propósito de contar con un instrumento cuyas partes sean desmontables, facilitando así las explicaciones en el salón de clases como complemento práctico de las explicaciones teóricas formales correspondientes.

**Palabras claves:** Lentes convexas, Imágenes reales y virtuales, Instrumentos ópticos, Enfoque.

## Abstract

*This work starts from the application a series of simple conceptual explanations, such as the focal length, real and virtual image formation, lens and microscope*

---

\* Departamento de Física, FaCENA - UNNE | 0379-475-0698, e-mail: [patprovasi@gmail.com](mailto:patprovasi@gmail.com)

*system and arises with the intention of applying them using materials available at home or easily acquired and very low cost; thus allowing its practical application in the classroom.*

*In this process, applying these elementary concepts; you can see others that are not so simple but very important when it comes to obtaining optimal equipment operation, such as opening the diaphragm or the focus.*

*The microscope designed and performed was made with the purpose of having an instrument whose parts are removable, thus facilitating explanations in the classroom as a practical complement to the corresponding formal theoretical explanations.*

**Keywords:** *Convex lenses, real and virtual Images, optical Instruments, focusing.*

## **Introducción**

Es ampliamente reconocida la importancia del microscopio y la revolución que éste causó en el avance científico, desde los microscopios ópticos hasta los basados en otros fenómenos físicos, tales como el microscopio de fuerza atómica [1,2] empleados para investigar la topografía de los materiales, el microscopio Kerr [2] para investigar la magnetización del material observado,

o el microscopio de efecto túnel [4] para obtener imágenes de superficies a nivel atómico.

Es posible encontrar en la bibliografía un número creciente de artículos que tratan sobre el diseño y la construcción de dispositivos de bajo costo [5-10] con diversos propósitos, tales como la reutilización de material de descarte [7,8], la utilización de las nuevas tecnologías [9] o su empleo como material didáctico para el aprendizaje de los principios físicos.

En el campo de la enseñanza de la Física, todos los cursos de óptica geométrica incluyen el estudio de instrumentos ópticos, donde se llevan a cabo esquemas algo más complejos que la simple marcha de rayos, incluyendo el análisis de lentes individuales con distancias focales y distancias objeto-lente dadas. Estas prácticas siempre producen resultados positivos cuando se sigue al pie de la letra las reglas aprendidas para las lentes delgadas simples, con arreglo a una convención de signos y consideraciones previamente establecidas.

No existe una separación entre la teoría y las actividades de laboratorio, sino que por el contrario hay una estrecha relación entre ambas.

La preocupación por acercar la experimentación mediante el diseño de

experimentos de fácil adquisición es una importante cuestión en la enseñanza de las ciencias, y en particular, de la óptica que abarca desde la medición del índice de refracción [11] hasta experimentos de difracción [12] y experimentos fotoacústicos [13].

Surge así la posibilidad de que el docente pudiera construir algunos dispositivos que le permita aplicar las habilidades disciplinares demostradas en el aula, realizando algunos experimentos, ilustraciones didácticas o demostraciones. A partir del diseño y fabricación de elementos que puedan sustituir a los convencionales, es posible desarrollar experiencias innovadoras, novedosas y de gran impacto visual.

Por otra parte, plantear la realización de este tipo de dispositivos, resulta una excelente oportunidad de desarrollo de trabajo práctico para los alumnos del Profesorado en Física, brindándoles la posibilidad de avanzar más allá de una enseñanza netamente teórica; convirtiéndose así en docente-facilitador en la demostración de los aprendizajes en óptica básica.

### **Un poco de Historia**

No es objeto de este trabajo presentar la historia del microscopio, por lo que nos limitamos a transcribir las versiones más aceptadas en la historia hasta estos días.

Los principios básicos de las lentes simples y algunos sistemas compuestos de varias lentes, tal el caso del microscopio y telescopio fueron explicados por Roger Bacon en el año 1267, quien describiera el método científico para las ciencias naturales que usamos hoy día. Sin embargo la primera construcción efectiva de un microscopio se le atribuye a Hans Jensen e hijo allá por 1590, quienes se dedicaban al mundo del espectáculo.

Posteriormente Galileo Galilei, en 1609, desarrolla el microscopio compuesto, formado por dos lentes; una convexa y otra cóncava. A los pocos años, en 1619, Cornelius Drebbel construye un microscopio compuesto con dos lentes convexas y Giovanni Faber de Bamberg, en 1625, es el que acuña el término "microscopio" por analogía con telescopio.

Mucho más tarde, en el siglo XVII, más precisamente en 1674, Anton van Leeuwenhoek desarrolla el "microscopio simple" o lupa.

### **Materiales y Métodos**

Los materiales necesarios para realizar el microscopio diseñado en este trabajo son los siguientes:

- » Tubo de PVC de **1,5"** o **3.8 cm** de diámetro,
- » Lentes de acrílico para Google

Glass Cardboard ®, de 4 cm de diámetro y 4.5 cm de distancia focal,

- » Soporte,
- » Power Bank **5 V**, alimentador de la luz led,
- » Luz led de aproximadamente **5 V**.

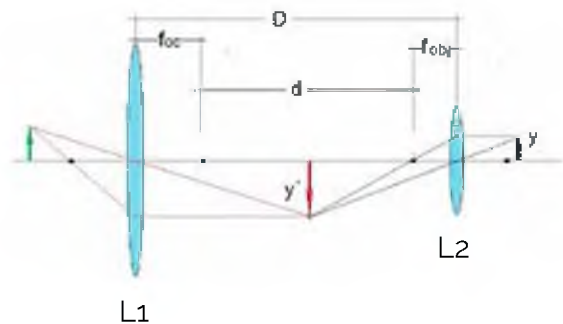
### Construcción

Los cálculos necesarios para determinar las dimensiones tales como la separación entre las lentes, son sencillos de realizar y normalmente aparecen en toda la bibliografía relacionada.

Como se menciona en la sección anterior, la distancia focal  $f$  de las lentes, es de **4.5 cm**, de forma que decidimos estimar una distancia de enfoque (lente objetivo, objeto),  $d^1O$ , de aproximadamente **5.5 cm** y en función de ella resolver la distancia (lente objetivo  $L_1$ , lente ocular  $L_2$ ) teniendo en cuenta que la imagen final, después de la lente ocular, debería formarse en el infinito. Esto último implica que haciendo uso de la ecuación de las lentes delgadas

$$\frac{1}{d_o^1} + \frac{1}{d_i^1} = \frac{1}{f_{obj}}$$

y reemplazándola por los valores mencionados, es decir  $f_{obj} = 4.5\text{cm}$  y  $d_o^1 = 5.5\text{cm}$  obtenemos para  $d_i^1 = 24.8\text{cm}$  donde hemos denominado  $d_i^1$  a la distancia imagen de la lente objetivo (lente objeto, imagen);  $d_o^2$  a la distancia objeto del ocular (lente ocular, objeto).



**Figura 1:** Esquema ilustrativo de un sistema de lentes delgadas convergentes, elementos básicos en un microscopio. A la derecha de la primera lente  $L_1$  (ocular) se sitúa un objeto cuyo tamaño se indica en verde. Este objeto es iluminado por una fuente de luz, la marcha de rayos con respecto al ocular (de distancia focal  $f_{oc}$ ) se indica en color rojo y la imagen se forma en  $y'$ . Ésta imagen actúa como objeto para la segunda lente  $L_2$  (objetivo), de distancia focal  $f_{obj}$ . Su marcha de rayos se indica en líneas negras y su imagen se forma en  $y$ . La distancia  $D$  indica la separación entre las lentes y puede variarse para obtener una magnificación del objeto de interés.

Para que la imagen entregada por el ocular se forme en el infinito, los rayos refractados por él deben emerger paralelamente; para que ello ocurra, la imagen entregada por el objetivo, debe formarse exactamente sobre el foco objeto del ocular, es decir;  $d_o^2 = f_{oc} = 4.5\text{cm}$ . Si se cumplen estas condiciones, se dice que el microscopio está "perfectamente enfocado".

Sumando ambas distancias  $d_1^1 + d_2^0$  = **29.3cm**, se obtiene la longitud total que tendrá el microscopio; dando una magnitud  **$L = 20.25\text{cm}$**  que es la distancia entre los focos (ver figura 2).

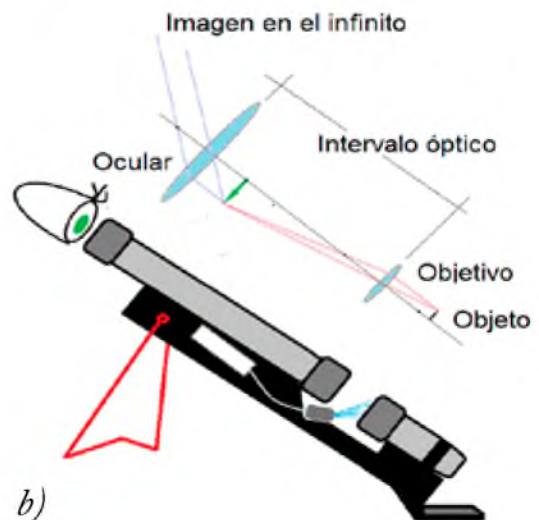
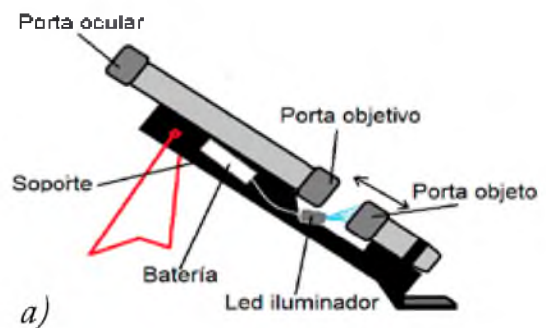
### Experimento

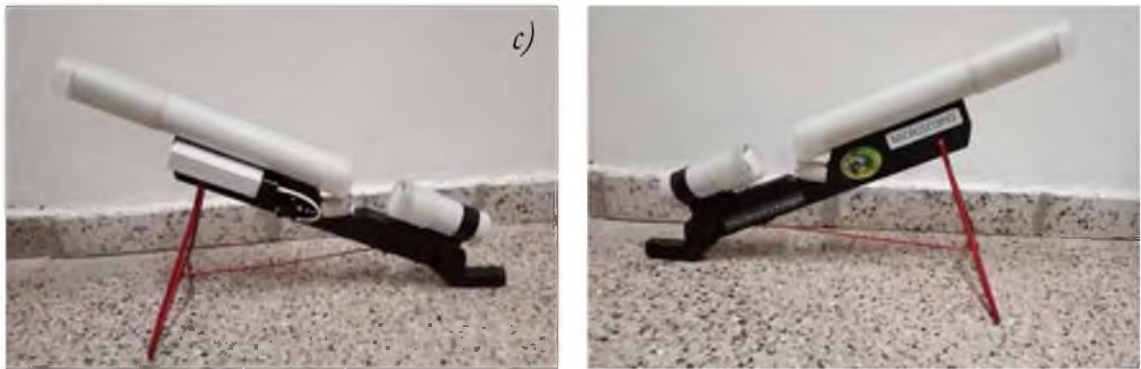
La teoría normalmente, simplificada, muestra un esquema sencillo que incita a olvidar las diferentes consideraciones que se han ido haciendo a lo largo del desarrollo del tema. A partir de la marcha de rayos de las lentes delgadas (que normalmente no son delgadas), y que los rayos son muy próximos al eje de las mismas (rayos paraxiales), ya que las curvaturas de las lentes normalmente no son parabólicas sino que esféricas, lo que genera ciertas aberraciones, etc. hasta alcanzar la composición de los instrumentos ópticos.

En la construcción de un microscopio funcional, se han tenido en cuenta todas estas consideraciones y se fueron integrando las distintas partes hasta que se pueda obtener una imagen nítida.

En la **Figura 2** se muestra el microscopio diseñado y se indican sus distintas partes componentes. El microscopio consta de un tubo en cuyo extremo superior se encuentra la lente ocular y en el extremo inferior la lente objetivo, ambas son idénticas y forman el par de lentes del **Cardboard**.

La distancia entre ambas lentes, denominado intervalo óptico, puede variar. Inmediatamente después se encuentra el portaobjeto sobre el cual se disponen objetos para su examen microscópico. Si bien este dispositivo está fijo, es posible encontrar el "correcto enfoque" del microscopio mediante el movimiento de la lente ocular. Para iluminar el portaobjeto, se utiliza un Led de alta eficiencia alimentado por una batería recargable (*power bank*), cuya intensidad puede regularse con un potenciómetro.





**Figura 2:** Microscopio construido (a), acompañado de un esquema ilustrativo de la marcha de rayos y formación de imagen en el microscopio (b) y fotografías de ambos lados del microscopio (c) y (d).

Mediante el ajuste del ocular (acercando o alejando) se logra el enfoque del microscopio. Este enfoque, busca que la imagen del objeto que se obtiene una vez que los rayos atraviesan la lente objetivo, se forme exactamente en el foco objeto de la lente ocular. En estas condiciones, la imagen (real) de la lente objetivo, se convierte en objeto (virtual) de la lente ocular, así, los rayos emergen paralelos de la lente ocular. Cuando los rayos paralelos ingresan al ojo del observador, convergen en la retina formando la imagen final (perfectamente enfocada)

Es importante el correcto enfoque del microscopio para “ver” una imagen nítida, sin que sea necesario acomodar el cristalino.

El aumento lateral, **B**, de la lente objetivo es:  $B = \frac{y'}{y} = \frac{d_i^o}{d_o^o}$  haciendo los

reemplazos para nuestro caso particular obtenemos  $B = 4.5$ . El que podría obtenerse también con la aproximación usual  $B \approx \frac{L}{f^o}$

Por otro lado el ocular actúa como una lupa y da una amplificación angular. La relación del ángulo visual bajo el que vemos el objeto ahora y lo vemos cuando lo acercamos al punto próximo, será el cociente de los dos ángulos visuales, es decir  $M = \frac{\theta^1}{\theta^2} = \frac{x}{f^2}$ ,

siendo **x** la distancia del ojo al punto próximo (la distancia más cercana a la que podemos ver un objeto con el ojo relajado, y que también nos da el ángulo máximo con que el ojo relajado ve el objeto) que es de **25 cm** en promedio. Entonces obtenemos un valor del aumento angular de **M = 5.56 cm**.

Con esto podemos definir el poder amplificador total del microscopio como el producto de la amplificación lateral del objetivo por la amplificación angular del ocular, de forma que tendremos:

$$M_{Tot} = B \cdot M$$

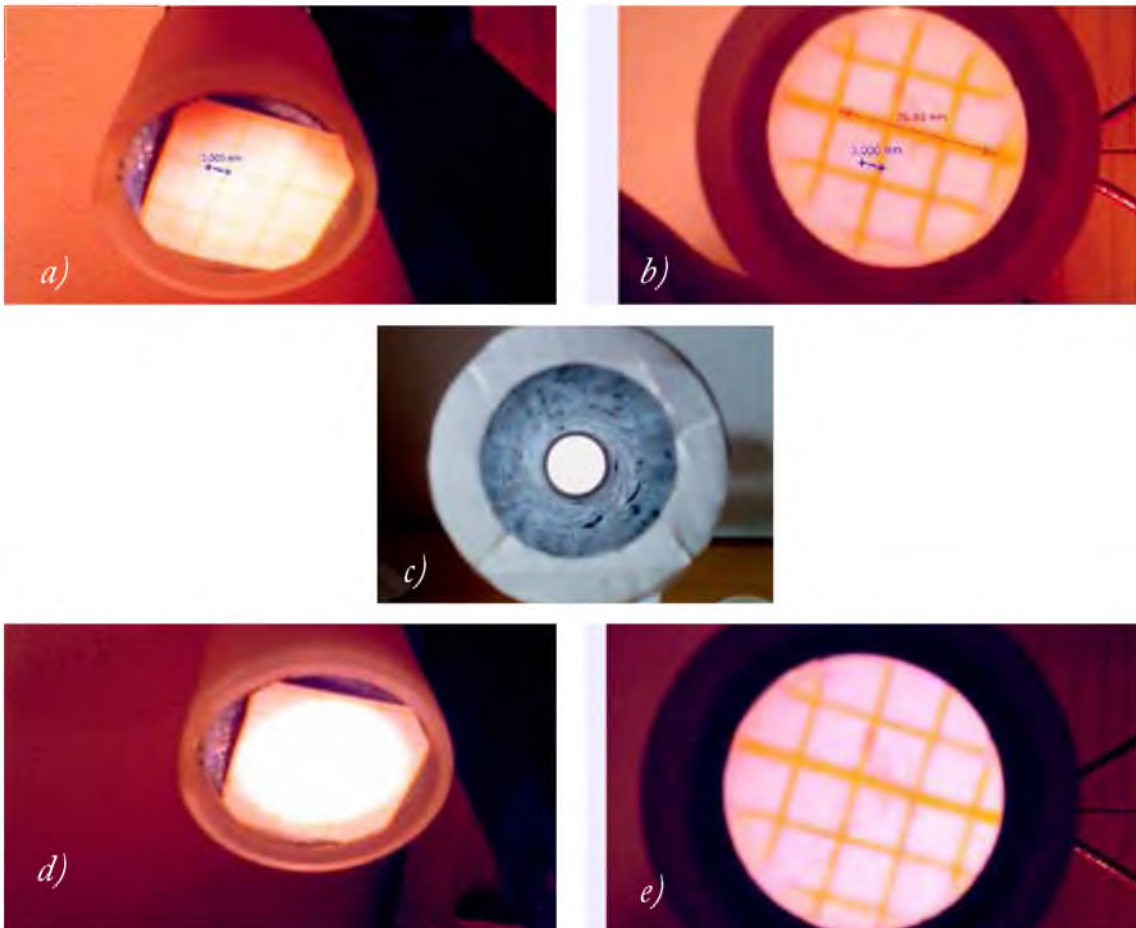
Lo que nos da un valor de **MTot = 25**.

Con el fin de facilitar el enfoque, el microscopio elaborado en este trabajo tiene la lente ocular está fija en relación al portaobjeto mientras que la lente ocular puede desplazarse longitudinalmente unos cuantos centímetros.

Considerando papel milimetrado como objeto de prueba, se iluminó el mismo y se realizaron capturas de imágenes para comprobar la magnificación lograda con el microscopio (**Fig. 3**). Para disminuir la intensidad de luz que ingresa al ocular, y así reducir

las reflexiones que tienen lugar en los extremos de la superficie de la lente, se colocó un diafragma de 2,6 cm de diámetro entre las lentes ocular y objetivo. Por cuestiones de diseño, dicho diafragma se dispuso próximo a la lente ocular para ser fácilmente extraíble.

A la vez, modificando la longitud del tubo conjuntamente con la distancia de la lente objetivo y la placa portaobjetos (platina), se pueden crear variantes al microscopio actual; logrando poderes amplificadores diferentes para los diferentes grupos que realizan la práctica de laboratorio.



**Figura 3.** Fotografía de un objeto débilmente iluminado (a), sobre el que se ha marcado un segmento de 3 mm (en color azul) usando el software **Tracker**<sup>1</sup>; en una fotografía de la imagen formada por el microscopio (b) se ha marcado una longitud usando la cinta métrica del programa, cuya vara de calibración son los 3 mm marcados para el objeto original. En el centro (c) se muestra una vista frontal del diafragma colocado delante del ocular. A partir del mismo objeto iluminado intensamente (d), se tiene una imagen con mayor brillo y nitidez disminuida.

En la **Figura 3** puede observarse que en los extremos de la imagen se produce una distorsión de las líneas del papel milimetrado (usado como objeto), lo cual se corrige medianamente modificando la distancia entre las lentes y la posición del ojo del observador. Sin embargo, la parte central del objeto no se altera y el sistema de lentes cumple satisfactoriamente su función como sistema de magnificación. Asimismo, puede observarse que el microscopio tiene un poder de resolución de 1 mm, pudiendo llegar a resolver hasta 0.5 mm conservando nitidez en la imagen.

## Conclusiones

Implementar una propuesta didáctica basada en Enseñanza por descubrimientos y/o recursos experimentales colabora con la experiencia vivencial del fenómeno.

El prototipo desarrollado en este trabajo fue elaborado con materiales de bajo costo y de fácil adquisición, y debido a que el proyecto está en ejecución es posible que requiera mejorar su diseño y ser validado en el laboratorio como apoyo para las clases teóricas para corroborar su pertinencia y efectividad para la enseñanza de la óptica.

Es posible pensar sin embargo en posibilidades de aplicación incorporando un sistema solidario de espejo y divisor de haz, que permita formar la imagen sobre un plano paralelo y al mismo nivel de la platina del microscopio. De esta forma se podría determinar experimentalmente el aumento que produce el microscopio.

El mayor desafío de realizar la experiencia de fabricar el microscopio descrito en este trabajo, se encuentra no sólo en recordar las consideraciones hechas en los diversos temas que se necesitan para llegar al estudio del microscopio, sino también en la búsqueda de materiales accesibles y de bajo costo.

<sup>1</sup> Video Analysis and Modeling Tool: <https://physlets.org/tracker/>



## Agradecimientos

Este trabajo se hizo posible mediante la financiación recibida a través del

Proyecto PI 17/F008 Res 0966/17 CS. de la Secretaría General de Ciencia y Técnica (SGCyT) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE).

## Bibliografía

- [1] Roland Berger, "The Atomic Force Microscope: A Low-Cost Model" *The Physics Teacher* 40, (2002) 502-503.
- [2] Severin Unger, Shingo Ito, Dominik Kohl and Georg Schitter, "Development of a Compact Atomic Force Microscope Based on an Optical Pickup Head" *IFAC-PapersOnLine* 49-21 (2016) 629-635.
- [3] David Neff, Anatol Hoemke, Adam R. Attig, and Hector Cordova Mireles, "Developing a Kerr microscope for upper-division solid-state physics laboratories", *American Journal of Physics* 82 (2014) 574-582.
- [4] Tom Ekkens, "A Student-Built Scanning Tunneling Microscope", *The Physics Teacher* 53, (2015), 539-541.

- [5] Peng Xi, Bartłomiej Rajwa, James T. Jones and J. Paul Robinson, "The design and construction of a cost-efficient confocal laser scanning microscope", *Am. J. Phys.* 75, (2007), 203-207.
- [6] Joseph Peidle, Chris Stokes, Robert Hart, Melissa Franklin, Ronald Newburgh, Joon Pahk, Wolfgang Rueckner and Aravi Samuel, "Inexpensive microscopy for introductory laboratory courses", *American Journal of Physics*, 77 (2009) 931-938.
- [7] Dong Heuk Hong, Man Il Kang, Sok Won Kim, "Development of a low-cost microscope using a DVD optical pickup head", *Optik* 124 (2013) 2089-2092.
- [8] Yuan-Chin Lee and Shiuh Chao, "A Compact and Low-Cost Optical Pickup Head-Based Optical Microscope", *IEEE Transaction on Magnetic*, 50 (2014) 3501304(1-4).
- [9] Timo Hergemöller, and Daniel Laumann, "Smartphone Magnification Attachment: Microscope or Magnifying Glass", *The Physics Teacher* 55, (2017), 361-364.
- [10] Sunmeng Wang, Derek J. Schipper, "Constructing a Low-Cost Polarized Optical Microscope for Undergraduate Material-Characterization Studies", *J. Chem. Educ.* 96, (2019), 823-826.
- [11] Esteban Szigety, Javier E. Viau, M. Alejandra Tintori Ferreira y; Lucrecia E. Moro, "Medición del índice de refracción del agua usando materiales sencillos", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* - 6, (2009), 146-150.
- [12] C. Carreras, M. Yuste y J.P. Sánchez, "La importancia del trabajo experimental en física: un ejemplo para distintos niveles de enseñanza" *Rev. Cub. Física*, 24, (2007), 80-83.
- [13] E Marín "Escuchando la luz: breve historia y aplicaciones del efecto fotoacústico" *Latin-American Journal of Physics Education*, (2008).