

Simple microscope based on laser and water drop

Microscopio simple basado en láser y una gota de agua

J.L. Garcia-Pomar*, G. Cristobal

Instituto de Óptica "Daza de Valdés", Serrano 121, 28006 Madrid

(*) E-mail: garciapomar@io.cfmac.csic.es

Received / Recibido: 28/05/2015 Accepted / Aceptado: 11/06/2015

DOI: 10.7149/OPA.48.2.115

ABSTRACT:

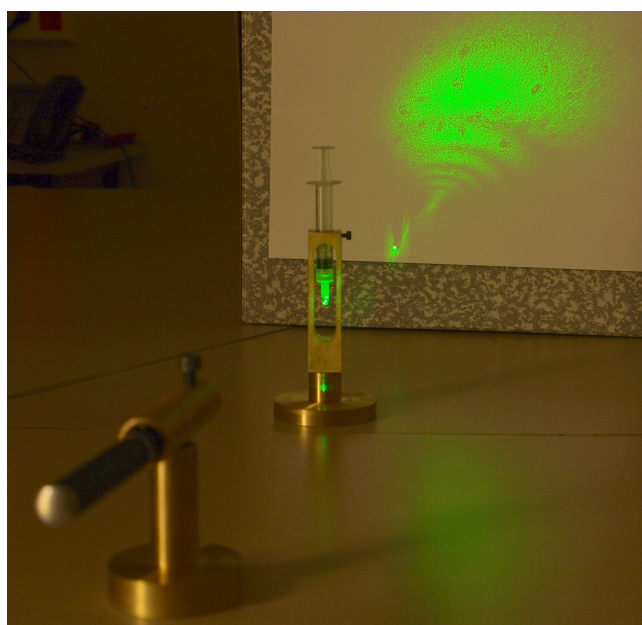
An educational project based on a laser source and a water drop that acts a single lens is presented allowing to project on a screen the shadows of the objects suspended in the drop.

Key words: Simple microscope, laser, solar microscope, microorganism

RESUMEN:

Presentamos un proyecto educativo basado en un láser y una gota de agua suspendida que actúa como una lente simple y permite obtener la sombra de elementos dentro de ella.

Palabras clave: Microscopio simple, láser, microscopio solar, microorganismo



[Video 1](#). Vídeo donde se explica la realización del experimento y se observan algunos resultados.

REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] M. Rooseboom, *Microscopium*, Leiden (1956).
- [2] R. Hooke, *Lectiones Cutlerianae*, V, *Microscopium*, London, 96, (1679).
- [3] E. Cyrulies, M. Schamne, "Construcción de un microscopio simple con la lente de un teléfono celular," *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **11**, 263-268 (2014).
- [4] J.S. Cybulski, J. Clemens, M. Prakash, "Foldscope: origami-based paper microscope," *PLOS One* **9**, e98781 (2014).
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0098781>

- [5] P. Heering, "The enlightened microscope: re-enactment and analysis of projections with eighteenth-century solar microscopes" *The British Journal for the History of Science* **41**, 345-367 (2008).
<http://dx.doi.org/10.1017/S0007087408000836>
- [6] G. Planinsic "Water-Drop Projector," *The Physics Teacher* **39**, 18-21 (2001).
<http://dx.doi.org/10.1119/1.1355162>
- [7] Otras experiencias similares se pueden encontrar en internet:
<http://www.teachertube.com/video/the-green-laser-microscope-129632>
<https://www.youtube.com/watch?v=1sJNhhansZg>
- [8] E. Y. Arashiro, N.R. Demarquette "Use of the Pendant Drop Method to Measure Interfacial Tension between Molten Polymers," *Materials Research* **2**, 23-32 (1999).
<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14391999000100005>
- [9] H. Streble, D. Krauter, *Atlas de los microorganismos de agua dulce*, Barcelona, Ed. Omega (1987)

1. Introducción

El microscopio se inventó a finales del siglo XVI y se atribuye su invención a los holandeses Zacharias Jansen y su padre y se trataba de un microscopio compuesto consistente en dos tubos envainados en un tercero con lentes al final de los tubos externos. El ocular era una lente bi-convexa y el objetivo una lente plano-convexa. El enfoque se lograba deslizando los tubos exteriores dentro o fuera y el microscopio era capaz de aumentar la imagen 3 veces cuando estaba completamente cerrado a 10 veces en su máxima extensión [1].

Posteriormente, se desarrollaron nuevos microscopios compuestos pero debido a las aberraciones únicamente se conseguían magnificar el objeto en torno a 20 y 30 aumentos. Ya Robert Hooke apuntaba este problema en su "Lectiones Cutlerianae" [2] y hablaba de la solución de usar un microscopio simple, el cual sin embargo no utilizó para sus experimentos:

"He encontrado el uso del microscopio simple perjudicial para mi ojo, provocando fatiga y debilidad de vista, la cual es la razón por la que yo omito su uso, a pesar que en verdad hacen aparecer los objetos muchos más claros y nítidos, y magnifican tanto como los microscopios dobles: Así para aquellos cuyos ojos puedan resistirlo, es posible gracias al microscopio simple encontrar descubrimientos mucho mejores que con el compuesto, debido a que los colores hacen mucho por distorsionar la clara visión en el microscopio doble, siendo este problema claramente evitado y prevenido por el simple"

"besides, I have found use of them offensive to my eye, and have much strained and weakened the sight, which was the reason why I omitted to make use of them, though in truth they do make the object appear much more clear and distinct, and magnifie, as much as the double Microscope: nay, to those whose eyes can well endure it, 'tis possible with the single Microscope to make discoveries much better than with a double one, because the colours which do much disturb the clear vision in double Microscopes is clearly avoided and prevented in the single."

De esta manera llegamos a la figura de Antonie van Leeuwenhoek (1632 - 1723) que construyó gracias a su habilidad en la creación y pulido de lentes un microscopio simple que llegaba a tener mas de 200 aumentos. El diseño del microscopio de Leeuwenhoek era muy sencillo. Usaba una única lente situada en un pequeño agujero de una lámina de latón. La muestra se montaba en una punta afilada y se colocaba en frente de la lente. Su posición y foco se ajustaba girando dos tornillos y la iluminación era a través de luz transmitida a través de la muestra. Su uso requería paciencia y buena vista (Fig. 1). Recientemente se ha descrito la manera de poder construir un microscopio de Leeuwenhoek moderno usando la lente de una cámara de móvil [3]. Otro desarrollo reciente que ha suscitado gran interés es el Foldscope tanto a nivel educativo como por su utilización en países en desarrollo es el basado en la utilización de microlentes y papel recortable permitiendo obtener hasta 2000 aumentos [4].

Así a pesar de que se realizaron muchos logros en microscopía y microbiología, durante los siguientes 200 años se siguió utilizando para tales descubrimientos y avances el microscopio simple debido a la aberración cromática que aparecía en los compuestos.



Fig. 1. Réplica del microscopio de Leeuwenhoek. Fuente: Wikipedia

No fue hasta el siglo XIX cuando el microscopio compuesto relegó al simple gracias en gran medida al trabajo conjunto de Carl Zeiss y Ernst Abbe, el primero mejorando la manufactura de los componentes de vidrio y el segundo desarrollando los principios teóricos que mejoraron el entendimiento del uso del microscopio.

Cabe destacar para nuestro artículo el uso del microscopio solar [5], muy popular desde finales de siglo XVIII hasta la primera mitad del siglo XIX. Consistía en un espejo plano que recogía los rayos solares a una lente que los conducía a un espécimen transparente y posteriormente pasaba la luz por el tubo de un microscopio compuesto, proyectando finalmente la imagen en una pantalla y consiguiendo grandes aumentos. Para ello era situado en una habitación oscura de tal forma que el espejo ajustable recogiera los rayos fuera de la ventana conduciéndolo por un tubo horizontal.

Así en este artículo se muestra que la utilización de un láser que incida sobre una gota suspendida de una jeringa permite proyectar con grandes aumentos los microorganismos que se encuentren dentro de la gota, actuando ésta como una lente esférica de un microscopio simple. Se detalla su funcionamiento y se analizan diferentes resultados.

2. Método experimental

2.a. Sistema experimental

El montaje experimental fue descrito en [6,7] y es bastante simple. Situamos una jeringa en un soporte que contiene la muestra que queremos examinar y cuidadosamente empujamos el pistón de la jeringa hasta que cuelgue una gota de la boquilla o aguja. Posteriormente colocamos un puntero láser que incida horizontalmente sobre la gota y proyecte una imagen sobre una pantalla a una distancia dada d (Fig. 2). Para la experiencia se ha usado un puntero láser verde de 5mW y una longitud de onda de trabajo de 532nm, aunque también es posible usar un láser rojo de 10mW y una longitud de onda de 633nm (como se muestra al final del [vídeo 1](#)). El uso de una potencia mayor o igual a 5mW hace que las muestras dentro de la gota se vean más nítidamente.

Se han utilizado diversas muestras controladas de diatomeas, euglenas, granos de polen (*Cistus Ladanifer*) y larvas de mosquito (*Chromida*) inmersas en formol proporcionadas por el Museo de Ciencias Naturales de Madrid. Así como muestras sin identificar del río Guadarrama a su paso por la localidad de Cercedilla con objeto de poder experimentar con diferentes tipos de especímenes para su observación.

Desde un punto de visto didáctico los alumnos pueden tomar muestras de mar para zonas costeras o de ríos o charcos intentando atrapar algo del fango del fondo o mezclar un poco de saliva.

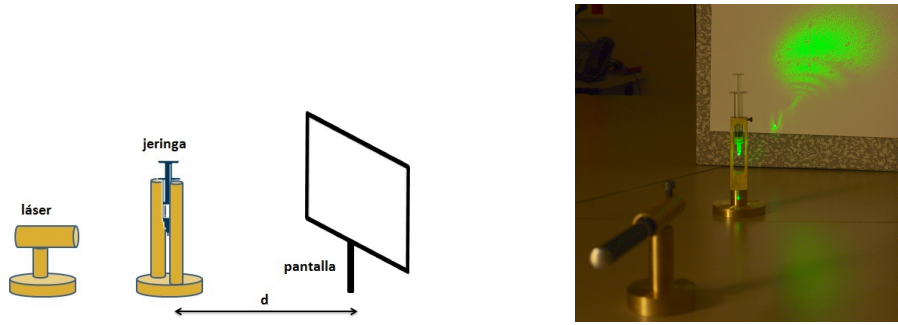


Fig.2. Esquema del montaje experimental (izquierda) y fotografía del sistema en funcionamiento (derecha).

2.b. Análisis de óptica geométrica

La gota que cuelga al final de la jeringa (Fig. 3) no es una esfera perfecta, pero por simplificación se puede aproximar a una lente esférica sin pérdida de precisión. Se puede considerar que el radio de la gota R es aproximadamente $R \approx a + a/4$ [8], siendo a el radio de la aguja de la jeringa.

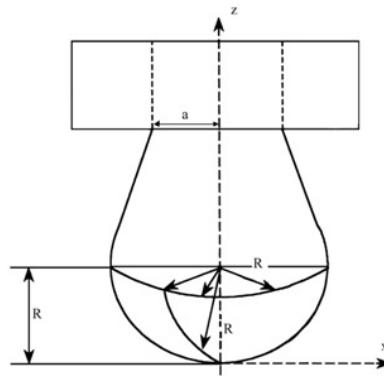


Fig.3. Geometría de una gota en suspensión.

El haz de luz penetra en la gota pasando dos veces por las interfases aire-agua. Se produce, por tanto, dos refracciones como muestra la Fig. 4. Produciéndose un foco en la parte posterior de la gota y alcanzando posteriormente la pantalla situada a una distancia d . Obsérvese que la imagen de la sombra proyectada del objeto estará invertida.

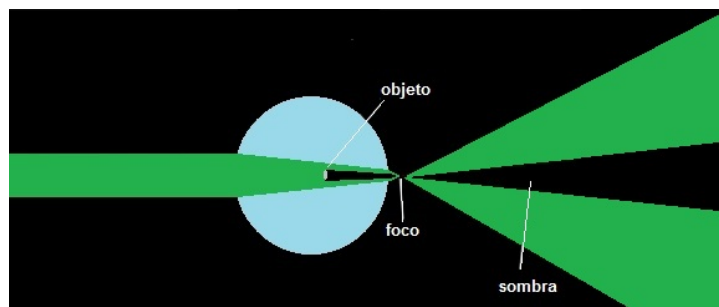


Fig.4. Doble refracción en una gota esférica y sombra creada por un objeto en su interior.

El sistema funciona como un proyector de imágenes. El aumento lineal que produce el sistema está en razón directa a la distancia d entre la lente de proyección (en nuestro caso la gota) y la pantalla e inversamente proporcional a la distancia focal de la gota f ya que el objeto se encuentra muy cerca del plano focal de la lente.

$$A = d / f ; \quad (1)$$

Así considerando la aproximación paraxial donde los ángulos son pequeños. La distancia focal considerando la geometría (ver Fig. 5) será:

$$f = R \left[\cos(2\beta - \alpha) + \frac{\sin(2\beta - \alpha)}{\sin(2\alpha - 2\beta)} \cos(2\alpha - 2\beta) \right]; \quad (2)$$

donde α es el ángulo de incidencia desde el aire a la gota y β es el ángulo de refracción en la gota. Asumiendo la aproximación paraxial en las cuales los senos se reemplazan por sus argumentos y el coseno se aproxima a 1 resulta

$$f \approx R \left[1 + \frac{(2-n)\beta}{2(n-1)\beta} \right] = \frac{n}{2(n-1)} R; \quad (3)$$

donde hemos usado la forma paraxial de la ley de Snell

$$n\beta = \alpha; \quad (4)$$

siendo n el índice de refracción de la gota. Con lo que de la Ec. (1) el aumento resulta

$$A = \frac{d}{f} = \frac{2d(n-1)}{nR}; \quad (5)$$

De la expresión anterior se deduce que el aumento es inversamente proporcional al tamaño de la gota y directamente proporcional a la distancia entre la gota y la pantalla.

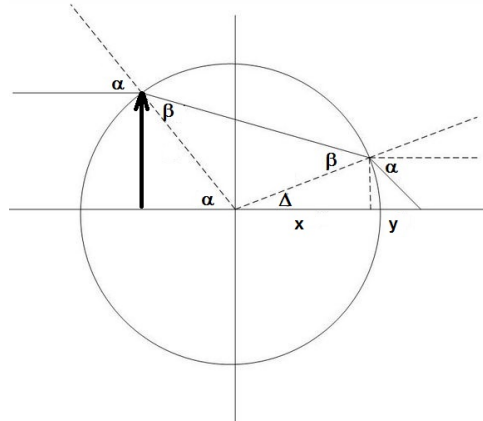


Fig.5. Las líneas sólidas finas representan el camino óptico. s. El ángulo Δ en la figura es $\Delta = \pi - [\alpha + (\pi - 2\beta)] = 2\beta - \alpha$. Con lo que $x = R \cos(2\beta - \alpha)$. Y el segmento $y = R \cos(2\alpha - 2\beta) \sin(\beta - \alpha) / \sin(2\alpha - 2\beta)$. Resultando la distancia focal $f = x + y$.

3. Resultados

Para una gota de 1 mm de radio la imagen teniendo en cuenta que el índice de refracción del formol 1.374 y el del agua es 1.333 y la distancia d a la pantalla es de 3 metros obtenemos aumentos calculados a partir de la Ec. 5 que se muestran en la tabla 1, donde hemos tenido en cuenta que el objeto flota en el lado de la gota cercano al láser.

TABLA 1. Aumentos para formol y agua para diferentes radios de jeringa utilizados

	R=1.0mm	R=0.4mm
Formol	1633	4083
Agua	1498	3747

En nuestro caso las imágenes fueron proyectadas en una pantalla blanca obteniendo una mancha de unos 2.5 metros de diámetro. Las imágenes fueron obtenidas con una cámara digital SLR Olympus E420. Se ven también patrones circulares de difracción debidos a los bordes de protozoos unicelulares o pequeñas algas. Además de las muestras controladas de diatomeas, euglenas y larvas de insecto, polen y muestras obtenidas del río Guadarrama citadas anteriormente se pueden observar otros microorganismos vivos

que se encuentren en suspensión. Hay que ser paciente y esperar su paso por la gota ya que estos pequeños protozoos se sienten atraídos por la luz (ver Fig.6 y [Video1](#)).

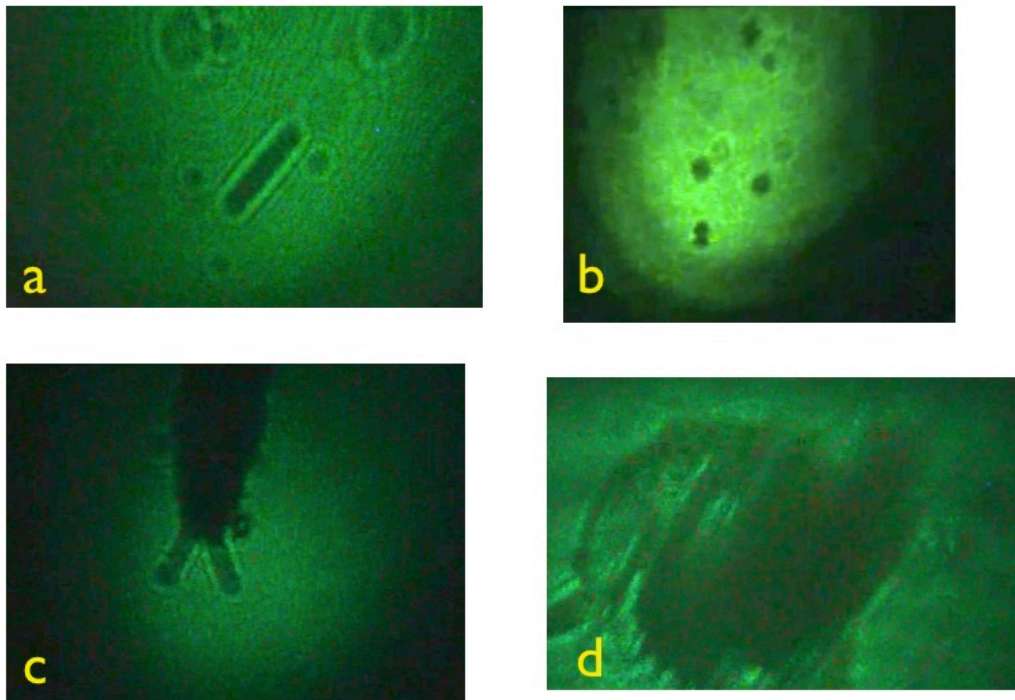


Fig.6. Imágenes proyectadas correspondientes a (a) diatomeas, (b) polen (Cistus Ladanifer). Tamaño típico 30 μm (c) larvas de mosquito (Chromida) y (d) Euglena con su típico flagelo a la izquierda.

El mismo montaje podría servir para construir un microscopio solar utilizando una gota de agua limpia y situando una preparación de microscopio entre el haz láser y la gota. En la Fig. 7 se presenta la imagen que se obtendría de un ala de avispa.

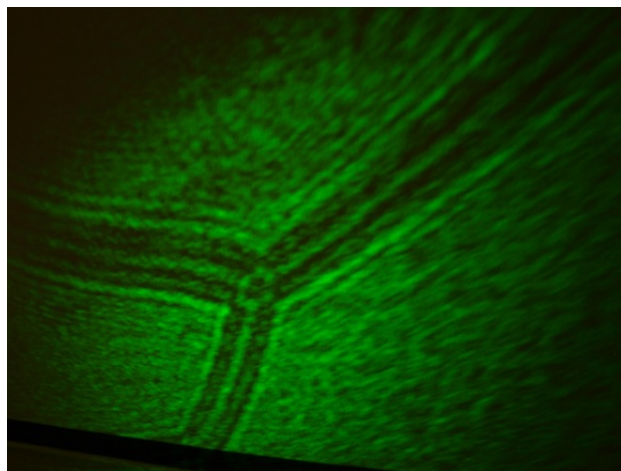


Fig.7. Imagen de una preparación de un ala de avispa proyectada en la pantalla cuando se coloca entre el haz láser y la gota de agua (antes de producirse la refracción en ésta).

Este fenómeno ya fue observado a mediados del siglo XVIII a través de los denominados microscopios solares que utilizaban la luz del sol como fuente de luz proporcionando la proyección de especímenes microscópicos en una pantalla [5]. Para la identificación de los organismos acuáticos se recomienda la utilización de la referencia [9].

4. Conclusiones

En este artículo se ha presentado un sistema que puede servir para afianzar los conceptos de refracción, el funcionamiento de un microscopio simple, así como la observación biológica de diferentes microorganismos presentes en muestras de agua para la evaluación de un ecosistema. Por ejemplo, las diatomeas sobreviven y se reproducen en el agua, aunque ésta presente alteraciones debidas a la presencia de desechos agrícolas, industriales o domésticos producidos por el ser humano. La determinación del tipo y número de especies de esas algas permitirían el control y seguimiento del estado ecológico de los ríos y por tanto identificar cual es la calidad biológica de los diversos sistemas acuáticos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Luis Prado Serrano del CFMAC la construcción de los soportes para sujeción del material didáctico, a Ana Jiménez por ayuda en la captura de las imágenes y a Miguel Álvarez Cobelas del Museo Nacional de Ciencia de Naturales por la cesión de algunas de las muestras de organismos acuáticos usadas en el artículo, así como a Amelia González Porto del Centro Agrario de Marchamalo (Guadalajara, España) por la cesión de muestras de polen. Este trabajo ha sido financiado en parte por el proyecto CTM2014-51907 y por la FECYT. J.L. G-P. agradece al Fondo Social Europeo por financiar parcialmente el programa JAE-Doc y a los proyectos TEC2012-37958-C02-02 del Ministerio de Economía y Competitividad y el proyecto S2013/MIT-2790 (SINFOTON) de la Comunidad Autónoma de Madrid.