

El problema de la simultaneidad entre el estudio teórico y el experimental en la educación a distancia: el laboratorio virtual de Óptica en la UNED¹

Sánchez, J.P.; Yuste, M. y Carreras, C.
Dpto. Física de los Materiales, Facultad de Ciencias (UNED)
C/ Senda del Rey, 9. 28040-Madrid

Resumen

En la enseñanza de las ciencias experimentales resulta complicado mostrar al mismo tiempo los fundamentos teóricos y los experimentos de laboratorio relativos a un mismo fenómeno. En la mayoría de los casos la época en que se imparten las clases teóricas está muy alejada de la época en que se realizan las prácticas de laboratorio. Esto es así no sólo en la enseñanza a distancia sino también en la enseñanza presencial. Por este motivo, en la asignatura de Óptica en la UNED hemos desarrollado un *laboratorio virtual*¹⁻³, de manera que el estudiante puede simular prácticas de laboratorio en su ordenador simultaneándolo con el estudio teórico. En este trabajo describimos cómo afecta el problema que se pretende resolver a la enseñanza de la asignatura de Óptica en la UNED, así como el contenido del CD interactivo: *el laboratorio virtual de Óptica*.

1. Características del alumnado de la UNED

El alumnado de la UNED es esencialmente inhomogéneo debido a que la oferta de esta universidad se dirige a amplios sectores de la población: desde el estudiante joven que no tiene la oportunidad de acceder a los estudios universitarios en una universidad presencial por estar ésta alejada de su núcleo familiar, hasta el profesional que anhela adquirir más conocimiento para su satisfacción individual, pasando por el licenciado que necesita adquirir una formación complementaria para ejercer su profesión, o el joven que ha tenido que abandonar sus estudios presenciales por necesidades económicas y se ha insertado tempranamente en el mundo laboral, o el trabajador que no tuvo la oportunidad de acudir a los estudios, ni siquiera primarios, sin olvidar al que cumple condena en un centro penitenciario ni al que sufre algún grado de minusvalía, que le hace muy difícil la asistencia a cursos presenciales. Todos ellos tienen una oportunidad en la UNED, aunque el esfuerzo a realizar para alcanzar el grado universitario sea muy diferente para unos y otros. Nuestra universidad tiene la obligación de atender a todas sus demandas de aprendizaje y debe tratar de conseguir que, al final del proceso, adquieran una formación homologable a la que se obtiene en las universidades presenciales. Esto nos ha conducido a programar una serie de actividades, unas obligatorias y otras voluntarias, que permiten a cada alumno encontrar la vía más adecuada a sus características para desarrollar sus estudios.

¹Este trabajo forma parte del Proyecto de Tecnología e Innovación Educativa: “*Técnicas experimentales en Física: adaptación de los materiales didácticos a las nuevas tecnologías*”. 1ª fase: *Elaboración de un CD-ROM interactivo con las prácticas de laboratorio de la asignatura Óptica*”, financiado por el Vicerrectorado de Investigación de la UNED (convocatoria 2001).

2. Metodología seguida en la asignatura de Óptica

El programa de la asignatura de Óptica (3^{er} curso de la licenciatura de Ciencias Físicas) se ha elaborado atendiendo a la secuencia histórica en el establecimiento de las ideas y teorías sobre la naturaleza de la luz⁴. Para su enseñanza, la metodología de trabajo que se ha adoptado es la siguiente:

- En primer lugar, se han organizado los contenidos para que el alumno pueda seguir el camino más adecuado para su aprendizaje.
- En segundo lugar, se ha presentado cada uno de los temas, proporcionando una justificación histórica de los mismos, indicando el objetivo fundamental que se persigue y diferenciando claramente el contenido teórico básico de las aplicaciones que de él se derivan.
- En tercer lugar, se ha procedido a la aplicación de los fundamentos básicos a casos concretos mediante la realización de ejercicios, problemas y simulación de experimentos con adquisición y tratamiento de datos.

Las actividades a llevar a cabo por el alumno, como ya se ha indicado anteriormente, son de dos tipos:

- **Obligatorias:** los *exámenes cuatrimestrales* (en el aula y en casa) y las *prácticas de laboratorio*⁵⁻⁷, que se pueden realizar en los laboratorios de los Centros Asociados, en los laboratorios de otras entidades universitarias, concertados por los Centros, o en el laboratorio de la Sede Central de la UNED⁸.
- **Voluntarias:** los *problemas de los cuadernillos*, los *problemas de enunciado abierto*^{9,10}, la redacción de *temas monográficos*¹¹ y la realización de *experimentos caseros*¹².

Tanto en la *Guía de Curso* como en publicaciones especializadas se describe con detalle cada una de ellas y su influencia en la evaluación de la asignatura¹³.

Actualmente, se está adaptando esta metodología, muy bien valorada entre los alumnos, a las nuevas tecnologías: utilización de la Red-UNED como vehículo para la transmisión de contenidos (temas, problemas, simulación de experimentos de laboratorio, etc.), para una mejor y más rápida articulación de las relaciones entre el alumno, el profesor-tutor del Centro Asociado y el profesor de la Sede Central, etc.; edición de materiales didácticos en soportes informáticos (CD-Rom, etc.),...

3. Criterios para la elaboración del *Laboratorio virtual*

El problema más importante que se plantea a la hora de impartir una asignatura experimental es el de hacer coincidir en el tiempo el estudio teórico y el laboratorio. Esto no es exclusivo de los estudios a distancia, pero en este caso el problema de agudiza. Incluso en la enseñanza presencial, resulta muy difícil impartir la teoría de un fenómeno al mismo tiempo que se estudia en el laboratorio. Esto es debido, esencialmente, a que el número de alumnos por profesor es siempre muy elevado para realizar una enseñanza tutorial como la que se ofrecía en los antiguos talleres artesanales. En éstos, aprendices, oficiales y maestros convivían estrechamente en lo que podríamos llamar la "enseñanza natural", adquiriendo los aprendices la práctica y la teoría de manera simultánea. Con la creación de las universidades en la Edad Media comenzaron a separarse alumno (aprendiz) y profesor (maestro), ya que éste tenía que atender a un número de estudiantes cada vez mayor, y se debilitó la

estrecha colaboración que existía en los antiguos talleres. En los últimos tiempos, gracias al desarrollo de las técnicas de enseñanza y, sobre todo, a la aparición de las nuevas tecnologías de la comunicación, esta deficiencia puede llegar a soslayarse.

Para resolver el problema de la simultaneidad teoría / experimento en la asignatura de Óptica, se han llevado a cabo simulaciones de algunas de las prácticas del laboratorio. A nuestro modo de ver, son varias las mejoras que se deberían de obtener con ellas:

En primer lugar, el estudiante puede realizar en casa la simulación de un experimento al mismo tiempo que estudia la parte teórica correspondiente, Esto facilitará la comprensión de la teoría y afianzará los conceptos que en ella se introducen.

En segundo lugar, permitirá que el alumno llegue al laboratorio real con un conocimiento de la materia que hará más eficaz su estancia en él. Es importante resaltar aquí que con el laboratorio virtual no se pretende renunciar al laboratorio real, ya que es ahí donde debe culminar la formación de un buen experimentador.

Y, en tercer lugar, mediante la simulación se pueden realizar experimentos que serían muy costosos para un laboratorio de estudiantes.

Las simulaciones realizadas son aplicaciones independientes, en el entorno Windows, desarrolladas con la herramienta de programación TestPoint para el control remoto de instrumentos de laboratorio. Una vez instaladas en sus PC's, los alumnos pueden simular la adquisición de medidas experimentales, tal y como lo harían en el propio laboratorio, con descripción de los montajes y dispositivos empleados, todo ello acompañado de figuras y animaciones, y con la posibilidad de llevar a cabo el posterior tratamiento matemático de los datos obtenidos.

En cuanto al diseño y orientación de estas simulaciones, hemos pretendido acercarnos, en la medida de lo posible, a la situación que el alumno se encontrará en la realidad en su paso por el laboratorio, tratando de prever su actuación y dirigiéndola según las pautas marcadas en el guión de prácticas. Los programas generan medidas experimentales semejantes a las que allí obtendrá, incluyendo un cierto porcentaje de error aleatorio, que simula el error experimental debido a los aparatos de medida y demás factores. Además, dicho porcentaje puede ser controlado a discreción, para simular medidas tomadas con otros aparatos más o menos precisos. Una vez obtenidas las mediciones correspondientes, el estudiante puede llevar a cabo el tratamiento de los datos y su interpretación física con ayuda de los programas que se le proporcionan en el CD-ROM.

4. Prácticas de Óptica virtualizadas

Las prácticas virtualizadas, son las siguientes:

La luz en la superficie de separación de dos medios isótropos: leyes de la reflexión y la refracción de la luz y Ecuaciones de Fresnel

El experimento está dividido en dos apartados, con dos montajes experimentales independientes.

En el primero de ellos se estudian las leyes de la reflexión y la refracción de la luz en la superficie que separa dos fluidos isótropos transparentes. Los fluidos pueden ser líquidos o gaseosos, con la única condición de que sean inmiscibles (por ejemplo,

agua-aceite, aire-agua, ciclohexano-anilina, etc.). El dispositivo permite determinar con suficiente precisión los ángulos de incidencia, de reflexión y de refracción de un haz láser, pudiéndose así comprobar experimentalmente dichas leyes. También es posible determinar la relación entre los índices de refracción de ambos medios, el grado de validez de la llamada “aproximación paraxial”, base del desarrollo de toda la Óptica Geométrica, y observar el fenómeno de la reflexión total cuando se incide desde el medio de mayor índice.

En el segundo montaje se lleva a cabo la comprobación experimental de las ecuaciones de Fresnel. Con un láser linealmente polarizado que incide en una cubeta que contiene agua u otro líquido (o cualquier otra combinación de medios transparentes), y con la ayuda de un fotómetro, se determina la variación del factor de reflexión R en función del ángulo de incidencia. Según este montaje, podemos elegir dos direcciones de polarización distintas, para las cuales el plano de incidencia y el de polarización coinciden o son perpendiculares.



Lentes delgadas

La característica que define una lente es su distancia focal f' , que relaciona las distancias objeto, s , e imagen, s' , mediante la conocida fórmula de las lentes delgadas. En este sencillo experimento se puede determinar la distancia focal de algunas lentes con ayuda de un láser y de un banco óptico, así como observar los típicos trazados de rayos que muestran todos los libros de Óptica Geométrica.

Polarización de la luz: Ley de Malus y Birrefringencia del papel celofán

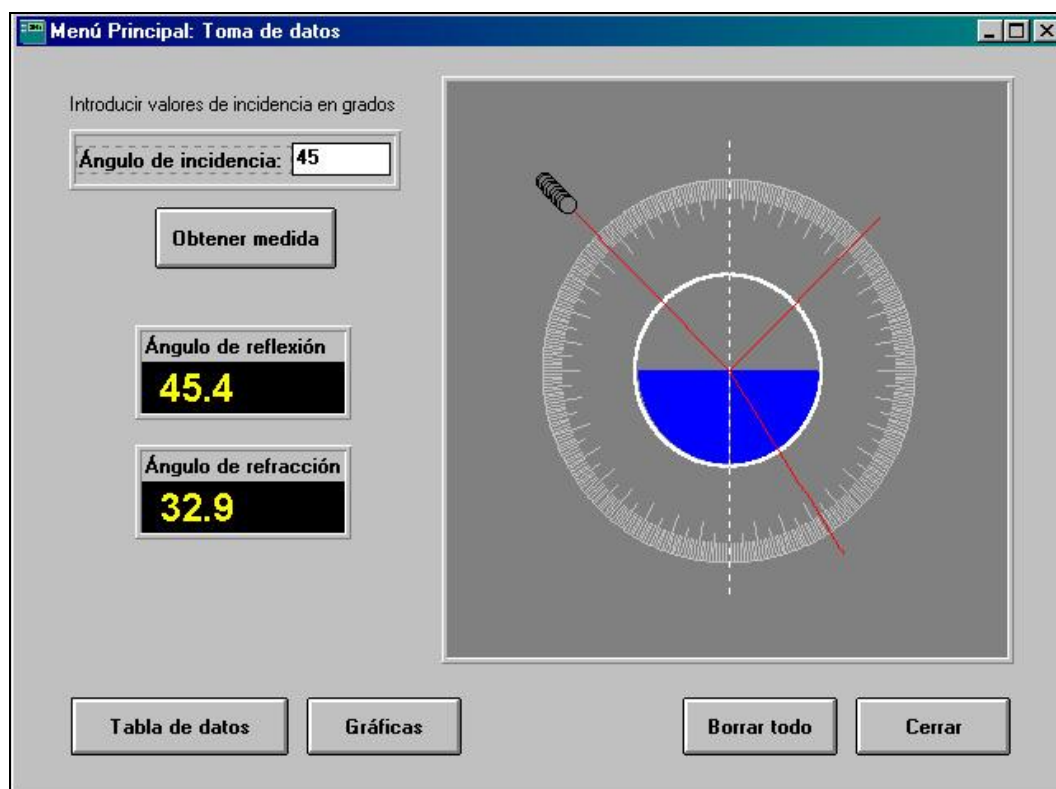
Esta práctica trata de poner en evidencia la polarización de las ondas luminosas. Para ello, con material relativamente barato y de fácil adquisición, se llevan a cabo algunos experimentos que permiten interpretar el fenómeno de manera bastante clara. La comprobación experimental de la ley de Malus, el estudio de la birrefringencia del papel celofán (el que utilizamos como cinta adhesiva), la determinación de la curva de polarización que describe el vector campo eléctrico en la luz polarizada, o el empleo de técnicas de sacarimetría para determinar la concentración de una sustancia, son algunos ejemplos de las actividades propuestas en esta práctica.

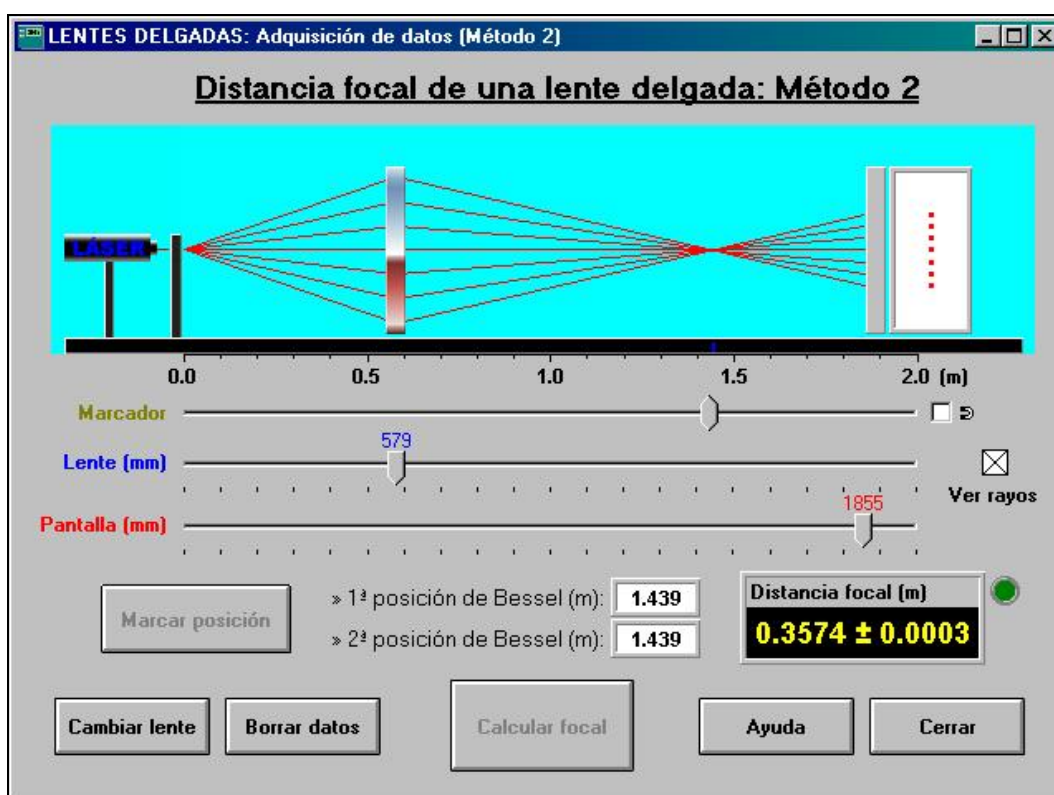
Difracción de la luz

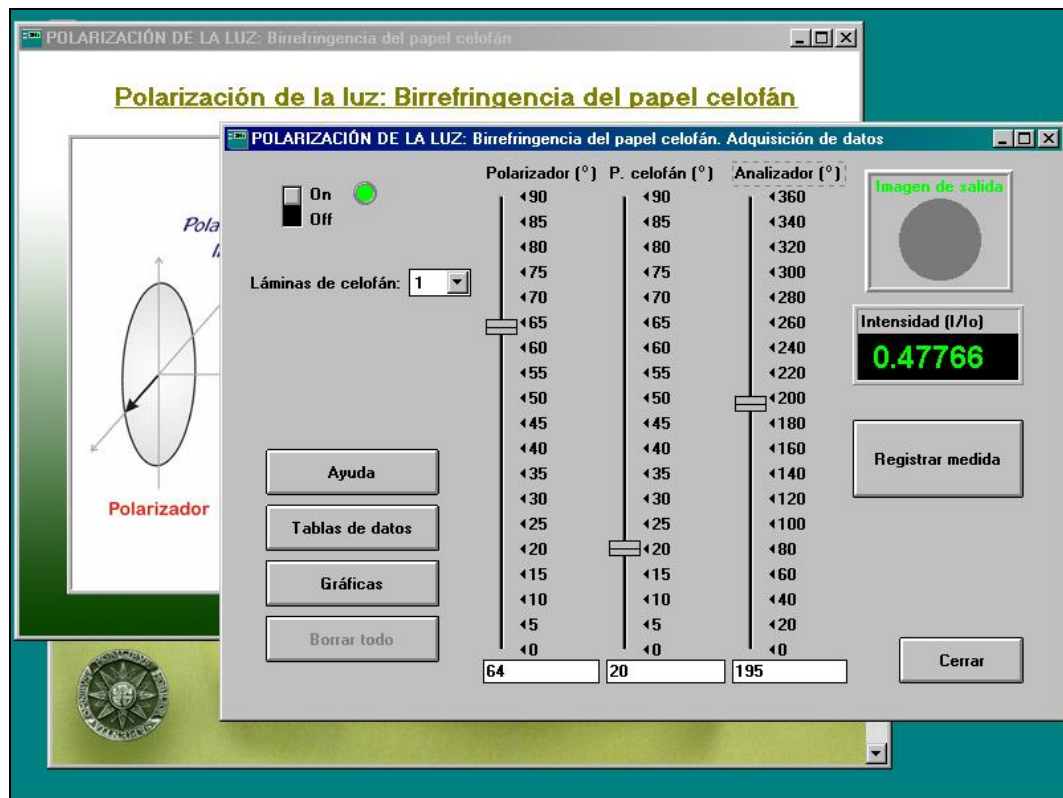
Los efectos difraccionales son de gran importancia en Óptica y son numerosas sus aplicaciones en diferentes áreas de investigación actuales. En este experimento se propone el empleo de un haz láser para la determinación precisa de las dimensiones de diferentes objetos difractantes, a partir del estudio de la distribución de intensidades en la figura de difracción.

Como actividad complementaria se propone el empleo de técnicas asistidas por ordenador aplicadas al análisis de datos experimentales.

A modo de ejemplo, añadimos algunas pantallas que aparecen en el ordenador.







5. Comentario final

Una primera versión de estas aplicaciones en CD-ROM ha sido distribuida gratuitamente a un grupo de veinticinco alumnos; no precisan conexión a Internet (ni a Intranet) para su ejecución, por lo que pueden practicar "off-line" con los experimentos propuestos cuantas veces lo deseen. Pensamos que puede tratarse (y así lo confirman las versiones de prueba distribuidas hasta la fecha) de un material didáctico complementario de gran valor, que ayuda al alumno en su estudio de la asignatura, facilitándole la comprensión de los fenómenos ópticos allí tratados, justo en el momento en que los está estudiando.

Esperamos que para el curso próximo (2004-05) se distribuya el CD a todos los alumnos junto con el resto del material didáctico de la asignatura, incrementándose así la implantación de los materiales virtuales en la enseñanza a distancia.

Referencias

1. Yuste, M.; Carreras, C.; Sánchez, J.P. y Valera, P.: *Adaptación de los materiales didácticos de la asignatura de Óptica a las nuevas tecnologías*. Libro de Actas de las Jornadas UNED'2000, 205-211 (UNED, Madrid, 2000).
2. Sánchez, J.P.; Yuste, M. y Carreras, C.: *Experimentos de Óptica para un Laboratorio Virtual*. Libro de Actas del III Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria (Universidad de La Habana, Cuba, enero-2003), en prensa.
3. Sánchez, J.P.; Yuste, M. y Carreras, C.: *Laboratorio virtual para la enseñanza de la asignatura de "Óptica" en la UNED*. Libro de Resúmenes de la XXIX Reunión Bienal de la RSEF, Vol. 1, 136-137 (Madrid, 7-11 de julio de 2003).
4. Vídeo: *La luz a través de la Historia* (duración: 45 min.). Autores: Carreras, C. y Yuste, M.; Realizadora: Viejo, R. Va acompañado de una Guía Didáctica (200 páginas). CEMAV-UNED, 1ª edición (1995), 2ª edición (2002).
5. Yuste, M. y Carreras, C.: *Fitting measurement on a single slit diffraction pattern*, en *Micro-computers in Science Education* (Edited by G. Marx & P. Szücs, International Centre for Educational Technology, Veszprém, Hungary), Vol. II, 142-154 (1985).
6. Yuste, M. y Carreras, C.: *Comment on 'Simple experiment illustrating the properties of waves in a refractive medium'*. *American Journal of Physics*, **54**, No. 7, 652-653 (1986).
7. Carreras, C. y Yuste, M.: *Una forma sencilla y natural de iniciar a los estudiantes en la Física Cuántica: Obtención y análisis de algunos espectros atómicos*. *Óptica Pura y Aplicada*, **21** (Vol. Homenaje a A. Hidalgo), Nº 2, 167-177 (1988).
8. Carreras, C. y Yuste, M.: *Innovaciones educativas: una década de talleres experimentales*. *Revista A DISTANCIA*, UNED/Número extraordinario, 140-145 (Primavera de 1993).
9. Yuste, M. y Carreras, C.: *El Arco Iris: El fenómeno natural en la enseñanza de la Física*. *Revista Española de Física (REF)*, **2**, Nº 1, 28-39 (1988).
10. Yuste, M. y Carreras, C.: *Birrefringencia del papel cello*. *REF*, **3**, Nº 2, 54-61 (1989).
11. Yuste, M. y Carreras, C.: *Fundamentos de la Radiación Láser*. Cuaderno de la UNED, Nº 113, UNED (Madrid, 1992).
12. Yuste, M. y Carreras, C.: *Experimentos caseros para un curso de Física General*. Cuaderno de la UNED, Nº 130, Experimentos 10-13, págs. 145-184, UNED (Madrid, 1994).
13. Yuste, M. y Carreras, C.: *Una experiencia innovadora en la evaluación de la asignatura de Óptica en la UNED*. *Ried*, Vol. 1, Nº 1, 173-185 (IUED, UNED, junio, 1998).