

Laboratorios remotos de Física

Luis de la Torre^I, Sebastián Dormido^I, Rubén Heradio^I, José Sánchez^I, Juan Pedro Sánchez-Fernández^{II}, Carmen Carreras^{II} y Manuel Yuste^{II}

Este trabajo presenta un portal web de laboratorios virtuales y remotos, UNEDLabs, que reúne aplicaciones de experimentación (laboratorios) y un entorno web (basado en un sistema de gestión de aprendizaje) juntos. Los laboratorios virtuales son utilizados por los estudiantes como una primera toma de contacto con los fenómenos estudiados, pero también les proporcionan resultados teóricos de los experimentos (basados en simulaciones). Los laboratorios remotos permiten a los usuarios llevar a cabo actividades de laboratorio de una manera real, controlar los equipos a distancia, a través de Internet, y obtener datos experimentales reales.

El entorno web contiene y soporta los laboratorios virtuales y remotos, así como la documentación asociada: introducciones teóricas a los experimentos, manuales de uso, etc. El conjunto de experiencias en UNEDLabs ya es suficiente para cubrir las principales disciplinas de la Física y, por lo tanto, ofrece una enseñanza completa, de acuerdo con el currículo oficial.

Introducción

Un marco de trabajo moderno, apoyado en tecnologías educativas punteras, debe ofrecer a los estudiantes dos aspectos bien diferenciados del aprendizaje: una manera de realizar el trabajo individual (por medio de la experimentación con un sistema o mediante el estudio de cierta documentación teórica, por ejemplo) y una manera de realizar el trabajo colaborativo (como consultar dudas a un profesor o a un compañero).

Un portal web de laboratorios (como el que aquí se presenta para asignaturas de Física) consiste, a grandes rasgos, en un *sistema de gestión del aprendizaje* (LMS, por sus siglas en inglés) y en los recursos educativos que deseen usarse (en este caso, unos laboratorios de experimentación *on-line*). Estos portales pueden cubrir todas las necesidades descritas anteriormente y, aún más, ofrecer otras características adicionales.

Los laboratorios *on-line* se encuentran ya bien asentados en muchas disciplinas científicas y técnicas [1, 3], donde su uso es razonablemente común, puesto que ayudan a ilustrar fenómenos científicos que normalmente requieren de un equipamiento muy costoso y/o difícil de montar. Estos laboratorios pueden consistir en dos partes: el experimento virtual o simulado y su contrapartida real (controlada remotamente a través de Internet). Podemos considerar que estas dos partes son en realidad dos enfoques complementarios. En primer lugar, tenemos los laboratorios virtuales, que emulan la experiencia científica en un espacio virtual donde todos los elementos del laboratorio se simulan en un computador. En segundo lugar, disponemos de los experimentos o laboratorios remotos, que se controlan de forma remota por el propio experimentador desde fuera del laboratorio utilizando Internet como soporte de comunicación. La combinación de ambos enfoques, laboratorio virtual y remoto, permite no sólo que los estudiantes puedan llevar las condiciones experimentales más allá de los límites que impone el equipo real utilizando el paradigma virtual, sino que también posibilita comparar la conducta de los

experimentos físicos con sus simulaciones (que muestran resultados teóricos) en un computador. Esta simbiosis entre virtual y remoto promueve un mejor aprendizaje y comprensión, ya que se pueden cuantificar los límites de validez de los modelos físicos. Recordemos que, a fin de cuentas, la comparación entre la teoría y la realidad es uno de los pasos fundamentales del método científico.

Además de laboratorios virtuales y remotos, existen otras soluciones que las nuevas tecnologías ofrecen a la experimentación a distancia para cursos científicos y técnicos, tales como los *experimentos de pantalla interactiva* (ISE, por sus siglas en inglés) [4]. Estas herramientas se ejecutan bajo el control del usuario, que simplemente debe actuar sobre los diferentes elementos interactivos del equipo representado por un ISE. Estos recursos consisten en cientos de fotografías de un experimento desarrollado en un laboratorio real, de tal forma que con el conjunto de dichas imágenes se capturen todos los posibles estados del sistema (o un alto número de ellos). Cuando un estudiante trabaja con un ISE el efecto es similar al de un laboratorio remoto, con la diferencia de que el equipo del laboratorio no necesita ser utilizado cada vez, puesto que los datos de cada estado del experimento están grabados. Esto presenta una ventaja para los ISE, ya que no existe un límite en el número de usuarios que pueden acceder al mismo de manera simultánea. Por otro lado, los ISE presentan un gran problema cuando se comparan con los laboratorios remotos y es que, como se fija un estado concreto del sistema, los estudiantes siempre obtienen los mismos valores de medidas. Otros recursos, como pueden ser los vídeos o los vídeos interactivos, no pueden considerarse como alternativas a los ISE o a los laboratorios virtuales y remotos, sino como un complemento de los mismos. Y es que, mientras que los primeros se utilizan para ofrecer lecciones teóricas, los segundos tratan de cubrir la parte experimental de un curso de aprendizaje.

1. Portal UNEDLabs

A través del diseño y de la tecnología desarrollada por los autores¹, el portal UNEDLabs (<http://unedlabs.dia.uned.es>),

^I Departamento de Informática y Automática, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, UNED.

^{II} Departamento de Física de los Materiales, Facultad de Ciencias, UNED.

¹ Además de los autores de este artículo, integran el proyecto UNEDLabs los profesores Pablo Domínguez, M.^ª del Mar Montoya, Manuel Pancorbo y Amalia Willliart, del departamento de Física de los Materiales.

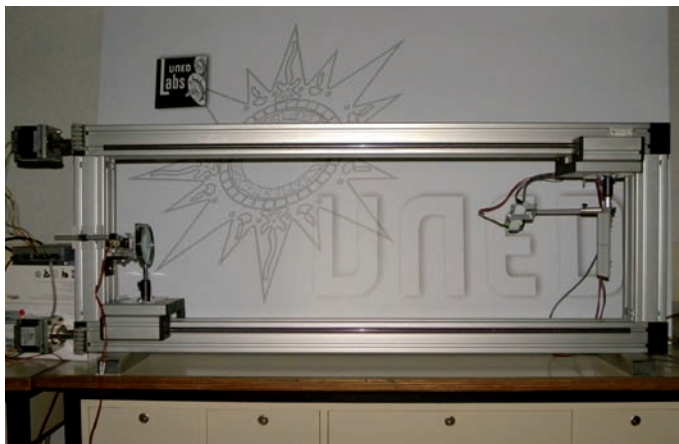


Fig. 1. Fotografía del experimento remoto “Lentes delgadas”.

con laboratorios virtuales y remotos de Física, es una alternativa para el desarrollo de las prácticas de las asignaturas de Técnicas Experimentales en el nuevo Grado en Física de la UNED. Todo lo que necesita el alumno para conectarse a este portal es un navegador y estar dado de alta para la realización de las prácticas. El conjunto de laboratorios desarrollados (algunos de los cuales ya han sido presentados en otros trabajos [5]) comparten un mismo esquema de trabajo y los materiales que se proporcionan a los alumnos permiten que puedan realizar sus prácticas de manera autónoma desde su propio domicilio.

Conviene destacar algunas de las características originales de UNEDLabs: a) todas las prácticas que se incorporan son de diseño original del equipo investigador que participa en el proyecto; b) el portal ha sido creado con tecnología Moodle y ofrece innumerables opciones de personalización, comunicación entre usuarios y compartición de recursos; c) el entorno cuenta con un sistema de reserva de tiempos para la realización de los experimentos reales; d) el portal incorpora un entorno colaborativo que promueve un espacio común de interacción entre profesores y estudiantes.

UNEDLabs es, pues, una red de laboratorios remotos para el aprendizaje y enseñanza de la Física que se constituye mediante la integración de los recursos *hardware* y *software* que se van incorporando con esta nueva forma de hacer prácticas de laboratorio. Se caracteriza por proporcionar un entorno de trabajo uniforme y adaptado a las necesi-

dades de la enseñanza para facilitar el aprendizaje de los estudiantes y su utilización por parte del profesorado como una herramienta docente más.

2. Desarrollo de experimentos con EJS y LabVIEW

En UNEDLabs, las versiones simuladas de los experimentos son aplicaciones Java (*applets*) construidos mediante el uso de un programa español, de libre distribución, llamado Easy Java Simulations (EJS) [6]. Este programa está especialmente diseñado para facilitar la labor de construir simulaciones de fenómenos físicos, ofreciendo como resultado una aplicación con un alto grado de interactividad para que el usuario pueda experimentar con ella. Con esta herramienta se construyen también, de manera rápida y sencilla, las interfaces gráficas de usuario para la visualización de los laboratorios remotos. En este caso, la interacción sobre la interfaz gráfica se traduce en control sobre el dispositivo experimental real mediante código subyacente desarrollado con LabVIEW, el conocido *software* comercial para el control de instrumentación.

3. Un ejemplo de laboratorio remoto: “Lentes delgadas”

De entre los laboratorios disponibles en UNEDLabs se describe a continuación, a modo de ejemplo, el experimento “Lentes delgadas”, cuyo objetivo es determinar por diferentes métodos la distancia focal de una lente problema.

La caracterización de una lente delgada se puede llevar a cabo fácilmente con ayuda de un láser. El dispositivo experimental mostrado en la figura 1 ha sido fabricado *ad hoc* para su utilización en el laboratorio remoto y se ha usado como modelo para el desarrollo del laboratorio virtual. Este dispositivo remoto está basado en un banco óptico de control manual que utilizan los estudiantes en el laboratorio docente de la asignatura de Óptica de la Facultad de Ciencias de la UNED. Sobre dos raíles de aluminio paralelos se han montado sendas plataformas móviles, una de las cuales porta una lente delgada y la otra una pantalla opaca. Al banco óptico así constituido se le ha colocado un diodo láser que incide en el centro de la lente, de manera que la dirección del láser constituye el eje óptico del sistema. Finalmente, a la salida del láser se ha colocado una red de difracción, que descompone el rayo inicial en una serie de rayos difractados

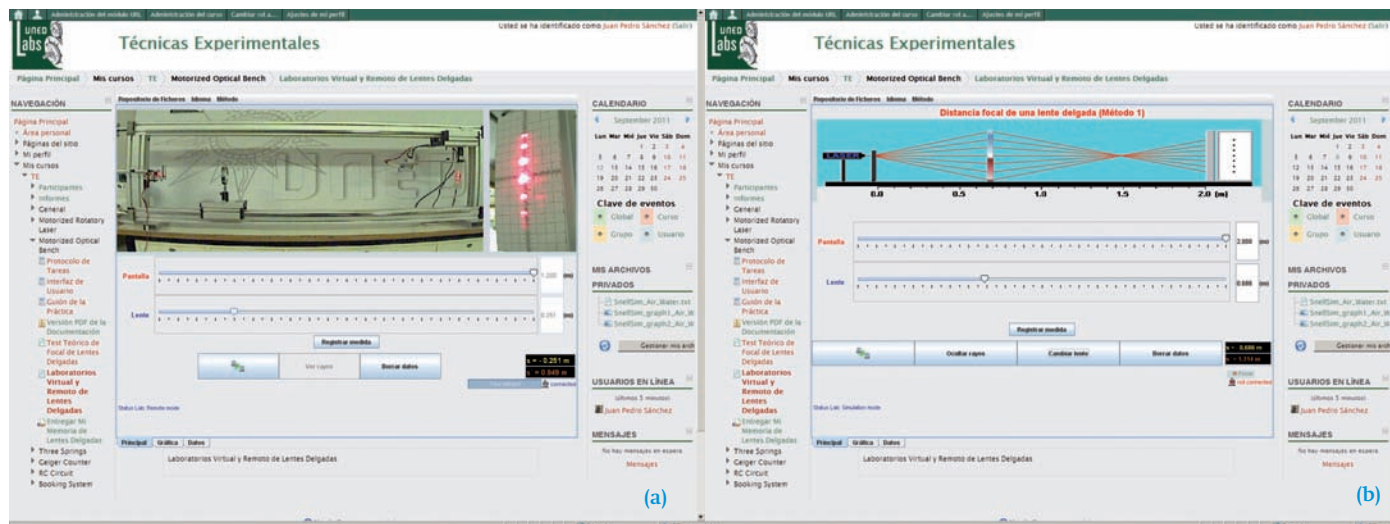


Fig. 2. Experimento “Lentes delgadas”, (a) en versión remota y (b) virtual

en distintas direcciones. Todos los rayos están contenidos en el plano que une los raíles y uno de ellos, el más intenso, sigue la misma dirección del rayo inicial (eje óptico) incluso después de atravesar la lente. El sistema utiliza dos motores paso a paso para producir el desplazamiento de las dos plataformas por sus respectivos raíles; su posición se controla ajustando el voltaje aplicado a cada motor. El sistema incluye dos cámaras de vídeo conectadas por IP que ofrecen, respectivamente, una visión global de todo el experimento y una visión detallada de la imagen formada por los rayos de luz sobre la pantalla opaca tras haber sido desviados por la lente.

Cuando la lente se sitúa en una posición cualquiera, los rayos que la atraviesan son refractados tanto a la entrada como a la salida de la misma. Dependiendo de la distancia objeto, los rayos emergentes pueden converger hacia un punto del eje óptico, que será la imagen del punto donde se originan todos ellos, situado en la red de difracción. El desplazamiento de la pantalla hasta localizar el plano de convergencia (plano en el que se forma la imagen puntual) permite determinar con suficiente precisión las distancias objeto s e imagen s' .

El experimento ofrece dos métodos para determinar la distancia focal de una lente delgada. Ambos pueden realizarse tanto en modo virtual como en remoto (la figura 2 muestra la interfaz de usuario en ambos modos de trabajo).

El primer método consiste en comprobar la conocida fórmula gaussiana para las lentes que relaciona las distancias objeto s e imagen s' con la distancia focal f' de la lente. Según este método, se coloca la lente en diferentes posiciones arbitrarias, se busca para cada posición la imagen formada por los rayos (para ello debe desplazarse la pantalla opaca hasta observar sobre ella una imagen luminosa puntual), se registran las distancias s y s' asociadas a cada caso y, a partir de la representación gráfica de todos los pares de valores de s y s' registrados y su ajuste a la función correspondiente, se determina con buena precisión la distancia focal f' .

Durante una sesión de trabajo el estudiante va adquiriendo una colección de datos (las mediciones de s y s') que van siendo almacenados en una tabla y representados en una gráfica y, cuando su número es suficiente, procede al cálculo final de la distancia focal de la lente utilizada mediante un ajuste lineal.

El segundo método ofrecido para determinar la distancia focal de la lente está basado en un procedimiento debido a Bessel. Cuando se forma la imagen con una lente convergente, si la distancia L entre los planos objeto e imagen es superior a $4f'$, existe otra posición de la lente que forma la imagen en el mismo plano espacial (es decir, a la misma distancia L del objeto). La localización de ambas posiciones permite deducir f' de manera precisa.

En este caso, durante una sesión de trabajo, el estudiante procede a la búsqueda de las dos posiciones de la lente que forman la imagen sobre la pantalla opaca, fijada previamente en un plano arbitrario, y de este modo determinan la distancia focal f' que caracteriza a la lente.

Conclusiones

UNEDLabs es un proyecto interdisciplinario en el que los departamentos de Física de los Materiales y de Informática

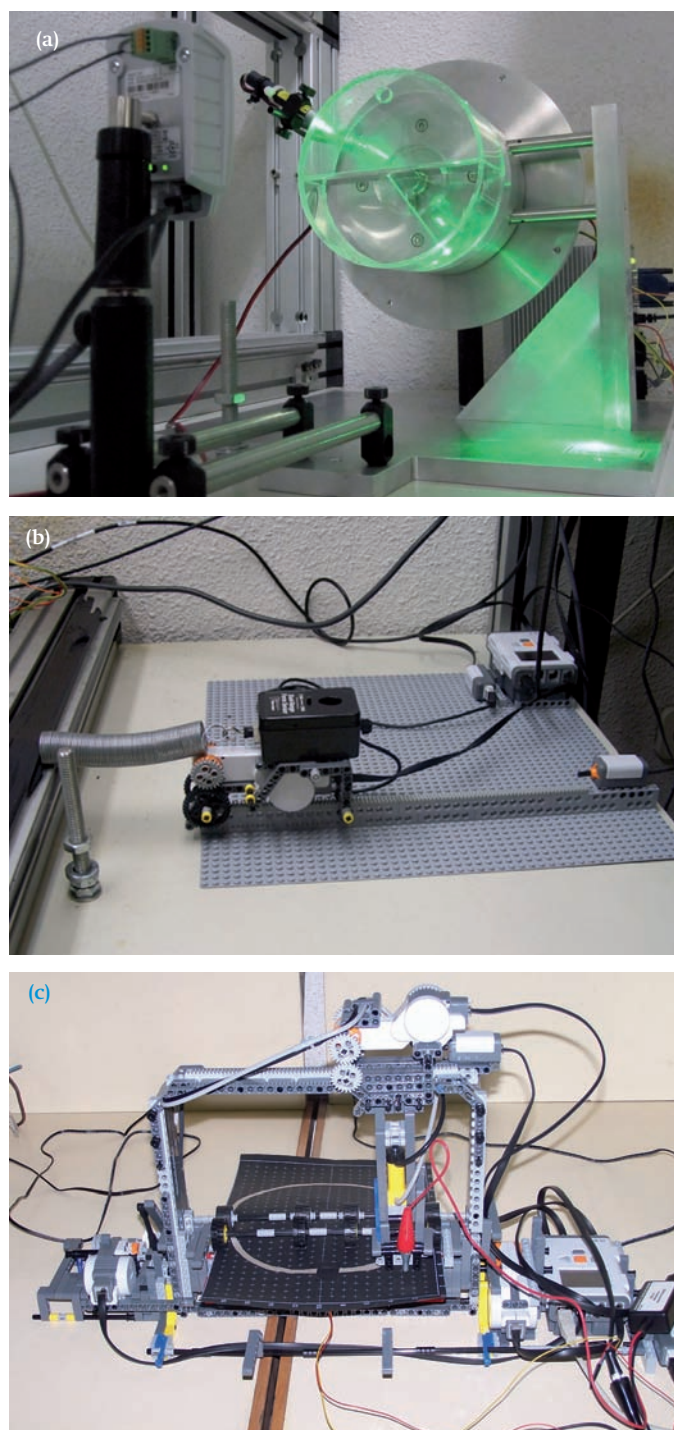


Fig. 3. Fotografía de algunos experimentos remotos diseñados en el proyecto UNEDLabs: (a) “La luz en medios isotrópicos”, (b) “Elasticidad de muelles: Ley de Hooke” y (c) “Campos y potenciales electrostáticos”.

y Automática de la UNED han unido sus conocimientos y esfuerzos para crear un portal *on-line* de laboratorios virtuales y remotos para los alumnos del Grado en Física. Es interdisciplinario porque requiere, por un lado, de capacidades tecnológicas informáticas que permitan integrar todos los recursos en un espacio *on-line* completo, interactivo, colaborativo y de fácil uso y manejo, tanto para los estudiantes como para los profesores, y por otro, de los recursos didácticos especializados (documentación, simulaciones, cuestionarios de teoría...), relacionados con la materia del curso en cuestión.

El entorno web, desarrollado en Moodle, que se pone a disposición de los alumnos ofrece un gran número de he-

herramientas que son imprescindibles para alojar y mantener un curso de experimentación remota. Entre éstas pueden destacarse:

- Un soporte para la configuración y evaluación automática de cuestionarios de teoría.
- Un repositorio privado de ficheros para cada usuario, así como la posibilidad de configurar otros repositorios públicos donde se compartan los archivos.
- Un calendario donde pueden marcarse avisos, actividades y fechas límite.
- Canales de comunicación e interacción entre profesores y alumnos o entre los propios alumnos, tales como foros, un sistema de mensajes instantáneos dentro del propio portal, *blogs*...

Por otro lado, el carácter abierto de Moodle ha permitido desarrollar *plugins*, herramientas o módulos propios que cumplen una serie de funciones adicionales no cubiertas inicialmente por este programa, así como la integración de los recursos didácticos necesarios para este tipo de portal. Entre ellos destacan los siguientes:

- Publicación en el portal de la documentación asociada a cada práctica (teoría, manual explicativo de la interfaz de los laboratorios y protocolo de tareas) desarrollada por el equipo docente de la asignatura en la que se enmarca la realización de las prácticas de laboratorio.
- Alojamiento en el portal de las aplicaciones (*applets* de Java) de los laboratorios virtuales y remotos.
- Un sistema de reservas que se encarga de organizar y controlar el acceso de los estudiantes a los recursos físicos que constituyen los laboratorios remotos.

El conjunto de capacidades y recursos ofrecidos por UNEDLabs hace de éste un portal *on-line* que pone a disposición de los estudiantes todo lo que pueden necesitar para completar satisfactoriamente, de manera autónoma y a distancia, el proceso de experimentación, tan necesario en las asignaturas con prácticas de laboratorio.

Aunque aquí sólo se ha presentado un experimento a modo de ejemplo, son ya cinco los laboratorios disponibles en la actualidad (algunos más se encuentran en fase de diseño y fabricación), lo que supone un espectro suficientemente amplio para cubrir las principales disciplinas de la Física en los primeros años del Grado (Mecánica, Electricidad, Óptica y Física Nuclear), ofreciendo, por lo tanto, una instrucción completa, sin fisuras y acorde a los programas de enseñanza reglados [5] (véanse algunos ejemplos en la figura 2).

Referencias

- [1] W. CHRISTIAN, F. ESQUEMBRE, y L. BARBATO, "Open Source Physics". *Science* **334**, 1077 (2011).
- [2] J. MA y J. V. NICKERSON, "Hands-on, simulated, and remote laboratories: a comparative literature review". *ACM Computing Surveys* **38** (2006).
- [3] L. DE LA TORRE et ál., "Two web-based laboratories of the FisL@bs Network: Hooke's and Snell's laws". *European Journal of Physics* **32**, 571 (2011).
- [4] P. A. HATHERLY, S. E. JORDAN y A. CAYLESS, "Interactive screen experiments innovative virtual laboratories for distance learners". *European Journal of Physics* **30**, 751 (2009).
- [5] C. GRAVIER et ál., "State of the art about remote laboratories paradigms - foundations of ongoing mutations". *International Journal of Online Engineering* **4**, 19 (2008).
- [6] <http://www.um.es/fem/Ejs>



Luis de la Torre, Sebastián Dormido, Rubén Heradio y José Sánchez.
Dpto. de Informática y Automática, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, UNED.



Manuel Yuste, Carmen Carreras y Juan Pedro Sánchez-Fernández.
Dpto. de Física de los Materiales, Facultad de Ciencias, UNED.