

Laboratorio Remoto eLab3D, un Recurso Complementario en la Formación del Ingeniero

S. López, Member, IEEE, A. Carpeño, Member, IEEE, y J. Arriaga, Member, IEEE

Title— Remote Laboratory eLab3D, a Complementary Resource in Engineering Education.

Abstract—Experimental training is essential in developing the whole set of skills that an engineer must acquire. Therefore, any resource that involves an improvement in the practical training is an issue of interest to the academia. eLab3D is an electronics remote laboratory based on a configurable hardware and 3D virtual world, that allows students to perform real experiments with analog electronic circuits. This article provides a SWOT analysis about remote laboratories compiled from recent publications and presents some relevant results of the use of eLab3D in real educational contexts, concerning the teachers' assessment of its potential and the students' perceived satisfaction.

Index Terms—Remote laboratory, electronic experiments, engineering education, virtual worlds, eLearning

I. INTRODUCCIÓN

La incorporación de la formación práctica a través de laboratorios virtuales y/o remotos ha servido, entre otros motivos, para suscitar una reflexión sobre cuáles son los objetivos de aprendizaje propios de los laboratorios en la formación de carreras como las de ingeniería. A pesar de que hoy nadie concibe una enseñanza en cualquier rama de la ingeniería sin incluir una formación experimental, durante muchos años ha habido una escasa atención a definir, medir e investigar sobre las competencias que el alumno debe desarrollar en los laboratorios [1].

Ha sido principalmente a partir de la década de los 80 del siglo pasado cuando ha ido tomando cuerpo una formulación más explícita de los objetivos de aprendizaje asociados a la formación en laboratorios y a su posterior evaluación [2]. En este proceso es de destacar como un hito importante la definición de trece objetivos fundamentales para los laboratorios educativos en ingeniería que fueron definidos durante el encuentro promovido por ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) y celebrado en San Diego, California, en Enero del 2002 [3]. En la última década y motivado en parte por la creciente necesidad de acreditación de las carreras, que en Europa ha tenido su particular desarrollo de la mano del denominado proceso de Bolonia, se han desarrollado enunciados más precisos de los objetivos formativos, de los resultados de aprendizaje y de los indicadores de evaluación en la formación de laboratorios [4], [5] y [6].

Por su parte, el concepto de laboratorio remoto es ampliamente conocido en los ámbitos industriales y docentes desde hace ya más de una década, y se centra de forma básica, en la posibilidad de realizar prácticas o experimentos sobre sistemas reales a través de Internet. La utilidad de estos laboratorios ha sido discutida por muchos investigadores [7], [8], [9] y ha originado muchas publicaciones de cuya lectura se puede deducir que no hay una conclusión evidente, porque tampoco hay unos criterios claros para su evaluación.

Para unos, los laboratorios no presenciales pueden actuar como refuerzo del aprendizaje y para otros como inhibidores. Hay defensores y detractores para cada tipo de laboratorio y la razón de esta aparente heterogeneidad es que a veces, las tomas de posición se realizan sin demasiadas evidencias empíricas o sin unos criterios de referencia previamente establecidos [10]. Tampoco ha faltado la presentación de resultados desde la óptica de la defensa o el ataque de una opción u otra como si los laboratorios no presenciales fueran incompatibles con los laboratorios presenciales.

Resulta de interés el establecer comparaciones entre los diferentes tipos de laboratorios, pero en estos momentos, parece aún de mayor interés el analizar cómo se pueden complementar y cómo se pueden conseguir los mismos resultados de aprendizaje con metodologías y recursos diferentes.

A partir de este punto, los investigadores debemos de ser capaces de avanzar en cómo se puede enriquecer el escenario docente que ofrece cada tipo de laboratorio y cómo, cada uno, en su ámbito específico puede mejorar la efectividad del aprendizaje, entendido como un proceso dialéctico sometido a los avances tecnológicos, pero también a la demanda social de formación, a la evolución de los resultados de aprendizaje y a las posibilidades de cada contexto educativo.

Con este propósito se presenta en la siguiente sección una reflexión sobre las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades que caracterizan los laboratorios remotos frente a los laboratorios presenciales.

En la tercera sección se presenta la plataforma eLab3D, incluyendo una breve descripción relacionada con las tecnologías involucradas en el desarrollo de la plataforma y las posibilidades educativas que puede ofrecer. La plataforma eLab3D permite, a través de Internet en un entorno virtual 3D, el control de los instrumentos típicos de un laboratorio de electrónica y la interacción real, manipulando cables y conectando componentes, con diferentes placas de circuitos electrónicos.

Sergio López, Antonio Carpeño, y Jesús Arriaga pertenecen al Departamento de Ingeniería Telemática y Electrónica, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Ctra. Valencia Km.7, 28031, Madrid, España (emails: {sergio.lopez, antonio.cruiz, jesus.arriaga}@upm.es)

La cuarta sección presenta varias experiencias docentes centradas en el uso de eLab3D y realizadas en los ámbitos de la enseñanza superior y secundaria.

Por último, la sección de “Conclusiones” destaca los resultados de las experiencias y avanza algunas reflexiones sobre futuros trabajos y mejoras.

II. UNA REVISIÓN DE LAS FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LOS LABORATORIOS REMOTOS

Es frecuente encontrar en los artículos sobre laboratorios remotos un énfasis en destacar los "puntos fuertes" que posteriormente, son mejor o peor justificados y avalados con encuestas de estudiantes. Esto, sin duda, aporta una información válida pero debe ser completada con otras reflexiones en las que se ponga de manifiesto los “puntos débiles”, los posibles recorridos de mejora, los retos a los que se enfrenta y las soluciones que cada alternativa sugiere. Con el objetivo de recoger de forma equilibrada las fortalezas y debilidades de los laboratorios remotos se ha revisado la literatura [10], [11], [12], [13], [14], [15] y se ha elaborado, en base a la reflexión y experiencia propia la siguiente relación:

a) Fortalezas

- Disponibilidad 24 x 7, lo que repercute en un mejor aprovechamiento de los equipos y espacios de laboratorio.
- Flexibilidad en la programación, facilidad para reutilizar y compartir recursos y versatilidad para adaptarse a diferentes perfiles de usuarios, no necesariamente universitarios ni del entorno académico.
- Accesibilidad desde cualquier lugar geográfico sin penalización.
- Capacidad para dar una nueva visión del experimento al usuario, facilitándole aproximarse a situaciones que en la vida real pudieran ser peligrosas, complejas, suceden a una velocidad excesivamente rápida o lenta, o a fenómenos que no resultan fácilmente visibles.
- Generación automática de información sobre la actividad de los usuarios que facilita su seguimiento y permite detectar las dificultades de aprendizaje.
- Interés global por la formación mediada por Internet con iniciativas impulsadas por organismos nacionales e internacionales y por las instituciones más prestigiosas, siendo un ejemplo de ello los actuales MOOC's.

b) Debilidades

- Dificultad, cuando no imposibilidad, de desarrollar capacidades relacionadas con el diseño: Creatividad, resolución de problemas abiertos,...
- Débil contacto con los dispositivos, circuitos y sistemas reales, lo que puede originar una concepción simplista de la realidad.
- Dependencia del administrador, profesores y usuarios de recursos informáticos y telemáticos y de su evolución. Con frecuencia exige el aprendizaje previo de un entorno nuevo que actúa de interface con el laboratorio.

- Pobres referencias y escasas buenas prácticas del uso de laboratorios remotos. Con frecuencia el software de diferentes opciones no es compatible.
- Importante inversión inicial. Este aspecto negativo debe ser considerado en términos absolutos y no en comparación del coste que podría suponer una instalación nueva equivalente de un laboratorio presencial.

c) Oportunidades

- Facilita la colaboración entre instituciones, compartiendo recursos, federando laboratorios, estableciendo planes de mejora conjuntos,...
- Ofrece mayores posibilidades para adaptar el acceso a personas con ciertas discapacidades físicas.
- Posibilita generar entornos enriquecidos que motiven al estudiante mediante la asociación de otros recursos de aprendizaje mediados por Internet.
- Presenta una mayor flexibilidad para su escalabilidad y el desarrollo incremental de sus capacidades.
- Permite dar mayor visibilidad nacional e internacional a la Institución que ofrece el laboratorio.

d) Amenazas.

- Genera sensación de aislamiento en el estudiante.
- Dependencia en una primera fase del apoyo firme institucional para no condicionar su futura estabilidad.
- Riesgo de que los errores cometidos por un usuario afecte al sistema. Equilibrio entre la libertad del usuario de cometer errores [16] y la protección de los equipos.

En este escenario, el diseño de la plataforma eLab3D ha buscado superar algunos de los aspectos que han sido destacados como “debilidades” o “amenazas” y consolidar los aspectos más positivos de este tipo de alternativas. En concreto, entre los objetivos básicos que se han considerado a la hora de desarrollar la plataforma eLab3D merecen especial atención los siguientes:

- Proporcionar una elevada sensación de realismo gracias a la utilización de un mundo virtual 3D y a la forma de manipular todos los objetos relacionados con el laboratorio (instrumentos, cables, componentes, placas, etc.).
- Reducir la sensación de aislamiento y facilitar la interrelación entre estudiantes y profesores permitiendo el aprendizaje cooperativo.
- Incrementar la motivación y el interés de los estudiantes en el aprendizaje. La utilización de avatares les resulta muy familiar al estar acostumbrados a usarlos cuando juegan en sus casas con sus consolas. Por tanto, la actividad educativa puede verse beneficiada al estar relacionada con las actividades lúdicas de los estudiantes.
- Potenciar el aprendizaje activo. El estudiante no asume un rol pasivo sino que en todo momento debe tomar decisiones que influyen en su aprendizaje, como son la elección de la placa de pruebas, la selección de los componentes apropiados, el montaje

de los mismos en la placa, la configuración de los instrumentos, la toma de medidas y la valoración de las mismas.

- Agilizar los tiempos de respuesta del sistema para conseguir una interacción ágil con los circuitos y el equipamiento.

III. DESCRIPCIÓN BÁSICA DE LA PLATAFORMA ELAB3D

Para desarrollar la plataforma eLab3D se han tenido en cuenta diversos aspectos tecnológicos y pedagógicos de acuerdo con lo descrito en el apartado anterior. En el ámbito tecnológico se han requerido conocimientos específicos en el diseño de sistemas automáticos de medida, el diseño hardware de sistemas electrónicos y el diseño de aplicaciones software optimizadas para que permitan el control, la comunicación y el acceso al laboratorio remoto [17]. En el ámbito pedagógico ha sido fundamental la experiencia en el campo del eLearning para conseguir definir los objetivos de aprendizaje adecuados según las competencias que se deban alcanzar mediante la realización de experimentos en un laboratorio relacionado con la ingeniería [1]. Hay que destacar que la plataforma se basa en dos tecnologías, los laboratorios remotos y los entornos inmersivos de aprendizaje, consideradas entre las tecnologías emergentes que más van a influir en los próximos años en el ámbito educativo de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas [18]. Teniendo en cuenta que nuestro interés se ha centrado en el área de la electrónica se tomaron como referencia otros laboratorios remotos específicos de esta área [19], [20] y [21].

A. Arquitectura

En la figura 1 se muestra la arquitectura de la plataforma eLab3D que está formada por un conjunto de elementos hardware y aplicaciones software. Los elementos hardware están constituidos por los bloques denominados “Instrumentos” y “Experimento” representados en la figura 1.

El bloque Instrumentos incluye los aparatos típicos que se utilizan en un laboratorio de electrónica: una fuente de alimentación, un generador de señales, un osciloscopio y un multímetro. Todos ellos se controlan, mediante interfaces GPIB y USB, por el servidor del laboratorio. El bloque Experimento está constituido por un sistema modular que

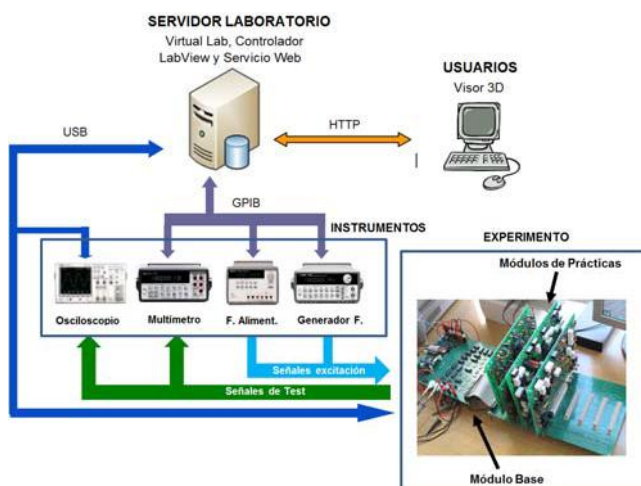


Figura 1. Arquitectura de eLab3D

incluye un módulo base, que se comunica mediante USB al servidor y que dispone de una serie de “slots” donde se conectan los diferentes módulos de experimentos. Estos últimos incluyen los circuitos electrónicos, configurables de forma dinámica, que permiten la realización de las diferentes prácticas. Actualmente se dispone de módulos de prácticas para poder realizar experimentos con circuitos basados en componentes pasivos, diodos, transistores y amplificadores operacionales.

B. Aplicaciones Software

Las aplicaciones software necesarias para el funcionamiento de la plataforma eLab3D se muestran en la figura 2.

La funcionalidad básica de cada una de las aplicaciones se describe a continuación:

- Visor 3D: aplicación de libre distribución que utiliza el estudiante para poder acceder al mundo virtual 3D (Virtual Lab). Cada estudiante dispone de un “avatar” y con él puede comunicarse con otros avatares e interactuar con los objetos del mundo virtual. El visor que se utiliza actualmente es Firestorm¹.
- Virtual Lab: mundo virtual que se ha desarrollado mediante la plataforma de código abierto Opensim². Controla todas las acciones que realizan los avatares ejecutando el código asociado a cada objeto (script) sobre el que actúa cada estudiante. Los scripts están desarrollados mediante el lenguaje LSL (Linden Scripting Language). El mundo virtual se ha creado intentando emular un entorno lo más cercano posible a la realidad. Contiene como elemento principal un edificio en el que están construidas diferentes estancias: salas de laboratorio, salas de video, salas de reuniones, etc. En las salas de laboratorios, lugar donde habitualmente realizarán sus actividades los estudiantes, existen varios puestos de trabajo. En cada puesto de trabajo (figura 3) cada estudiante dispone de los instrumentos y del material necesario para realizar las diferentes prácticas, incluyendo las placas de prueba (figura 4), cables y componentes (figura 5).
- Servicio Web: aplicación que se encarga de gestionar, mediante el protocolo HTTP, la comunicación entre el Virtual Lab y la aplicación Controlador LabView.
- Controlador LabView: aplicación desarrollada con el entorno de programación LabVIEW de National Instruments encargada de controlar las acciones que realiza cada estudiante, y de gobernar, en función de dichas acciones, los Instrumentos y el Experimento.

C. Modo de Operación

El modo de operación de un usuario en la plataforma eLab3D es muy similar al que realizaría en un laboratorio de electrónica presencial.

¹ <http://www.firestormviewer.org/>

² <http://opensimulator.org>

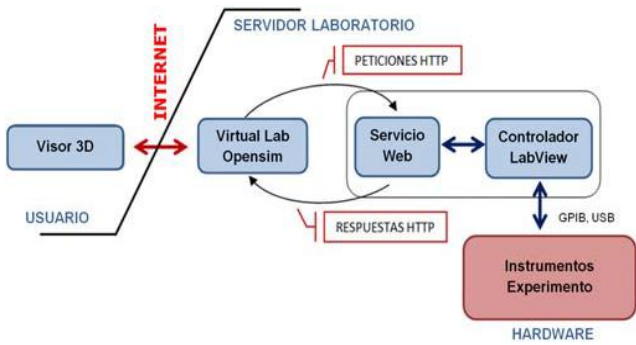


Figura 2. Aplicaciones software de eLab3D

La primera actuación del usuario es la reserva de un puesto de laboratorio. Junto a la puerta de cada laboratorio se encuentra un panel informativo con la ocupación de los puestos de laboratorio y un botón de reservas para poder formalizar la reserva de un puesto de laboratorio (figura 6). Cuando se toca dicho botón con el ratón aparecen una serie de menús que permiten seleccionar el día, hora y puesto de laboratorio.

Las reservas de los puestos siempre se realizarán por periodos de dos horas. También existe la posibilidad de cancelación de reservas. No existe, por el momento, limitación en cuanto al número de reservas que puede realizar un mismo usuario. Sin embargo, si se observa que un usuario realiza un número excesivo de reservas, los administradores del sistema podrán anular las reservas de dicho usuario que consideren oportunas.

El sistema de reservas avisa al usuario cuando faltan diez, cinco y un minuto para terminar la sesión de dos horas reservada y así poder dejar recogido el puesto de laboratorio para el siguiente usuario.

Una vez reservado un puesto de laboratorio, el usuario puede acceder al mismo y comenzar a realizar el experimento. En primer lugar deberá elegir la placa de pruebas con la que va a trabajar, seleccionada en función del tipo de circuito que vaya a montar y testear (figura 4). Con la placa de pruebas sobre la mesa podrá realizar el montaje de los componentes y realizar las conexiones de los cables entre la placa y los diferentes instrumentos de excitación y medida (figura 3 y figura 4). Respecto al montaje del circuito es importante destacar que la plataforma está diseñada para que se permitan realizar circuitos cuyo funcionamiento no sea correcto, como ocurriría en un laboratorio presencial, siempre que dichos circuitos no causen daños en los componentes o a los equipos. En ese momento se le informa al estudiante sobre el error cometido. Una vez realizado el montaje del circuito y las conexiones de los cables el usuario podrá interactuar con los diferentes instrumentos para testear el funcionamiento del mismo.

La plataforma está diseñada para que varios usuarios puedan interactuar con los objetos de un mismo puesto de laboratorio y permitir el trabajo colaborativo. Todas las acciones que realiza el usuario en un puesto de laboratorio, relacionadas con un experimento, se registrarán en una base de datos para que puedan ser consultadas por los profesores en las tareas de evaluación. Cualquier usuario puede colaborar con otro en la realización de una práctica utilizando las herramientas de comunicación incorporadas en el visor 3D.

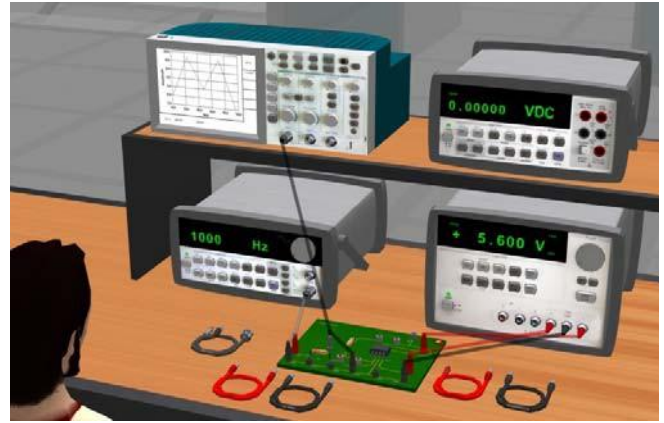


Figura 3. Puesto de Laboratorio

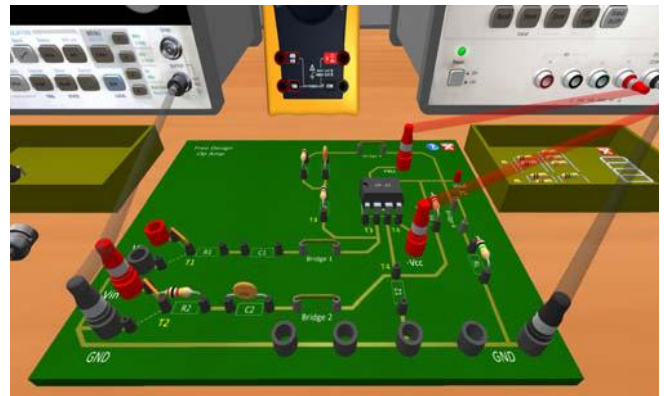


Figura 4. Conexiones en una placa de pruebas.



Figura 5. Armario con las diferentes placas de experimentación y cajones con los diferentes componentes electrónicos.

	27-01-14	28-01-14	29-01-14	30-01-14	31-01-14	01-02-14	02-02-14	03-02-14	04-02-14
08:00 - 10:00
10:00 - 12:00
12:00 - 14:00
14:00 - 16:00
16:00 - 18:00
18:00 - 20:00
20:00 - 22:00

Figura 6. Tablón de reserva de puestos de Laboratorio



a) Edificio y parque de esparcimiento



b) Sala de videos



c) Sala de reuniones



d) Laboratorio de Electrónica Analógica

Figura 7: Diferentes vistas del entorno de trabajo del laboratorio eLab3D

D. Entorno de trabajo y aspectos técnicos.

El laboratorio eLab3D está construido en una región o isla que incluye el edificio principal del laboratorio, el terreno que rodea al edificio y un pequeño parque de esparcimiento (figura 7.a). Ubicado en el centro de la isla se encuentra el edificio que alberga las aulas de los diferentes laboratorios.

Actualmente el edificio consta de dos plantas. En la planta baja existe un hall y varias salas: laboratorio de Diseño de circuitos y laboratorio I de Electrónica Analógica, sala de videos (figura 7.b) y sala de I+D. En la primera planta se encuentra una sala de reuniones (figura 7.c) y el Laboratorio II de Electrónica Analógica (figura 7.d).

Los Laboratorios de Electrónica Analógica disponen de doce puestos de laboratorio que podrán ocupar los usuarios, haciendo la reserva previa permitiéndoles trabajar simultáneamente realizando la misma o diferentes prácticas de laboratorio. Todos los puestos pueden estar funcionando simultáneamente sin producir sensación de retardo entre los usuarios.

Respecto a los requisitos técnicos necesarios para trabajar con la plataforma eLab3D sólo es necesario un ordenador con una tarjeta gráfica que permita trabajar adecuadamente con imágenes 3D, una conexión a Internet con un ancho de banda superior a 10Mb/s y el visor 3D apropiado al sistema operativo que se utilice (Windows, MaC o Linux).

IV. EXPERIENCIAS DE USO

Para valorar las posibilidades docentes de la plataforma eLab3D se decidió planificar varias experiencias en las que participaron diferentes colectivos de estudiantes y profesores de enseñanza universitaria y secundaria. Todos

ellos de formación presencial. A continuación se presentan las experiencias y en el apartado de Conclusiones se comentan los resultados más relevantes obtenidos en las mismas.

A. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST-UPM)

Entre noviembre de 2012 y febrero de 2013 un conjunto de 16 estudiantes de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid y 9 profesores vinculados al área de la electrónica utilizaron la plataforma eLab3D para realizar una serie de actividades prácticas y completar, una vez finalizadas dichas actividades, una encuesta en la que se les solicitaba su valoración personal. A los estudiantes participantes sólo se les exigió como requisito haber cursado la asignatura de Análisis de Circuitos.

Las actividades que se propusieron en la experiencia consistieron en la lectura de un manual de usuario, que incluía una descripción inicial básica del entorno y un tutorial guiado con una serie de ejercicios prácticos, y en la realización de una práctica virtual. En dicha práctica virtual se realizaron las siguientes tareas:

1. Determinar la influencia de la impedancia de salida del generador de señales mediante el circuito de la figura 8.
2. Determinar la influencia de la impedancia de entrada del osciloscopio mediante el circuito de la figura 9.
3. Analizar el funcionamiento de un circuito RC mediante el circuito de la figura 10.
4. Detectar una avería en el circuito electrónico (filtro paso alto) de la figura 11.

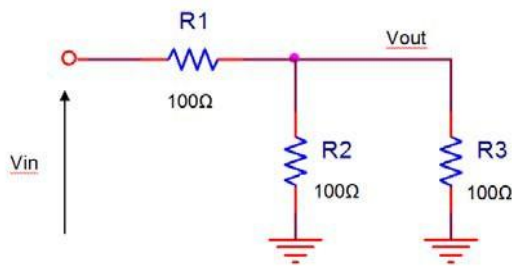


Figura 8. Circuito para realizar actividad 1

La encuesta que completaron los participantes contenía 50 cuestiones que podían ser valoradas entre 1 (nada de acuerdo) y 5 (totalmente de acuerdo). Las cuestiones se seleccionaron y agruparon para poder valorar los siguientes factores: facilidad de utilización, fiabilidad de la plataforma, percepción de inmersión, aprendizaje percibido, utilidad y satisfacción. Los resultados que se obtuvieron se muestran en la Tabla I.

B. Centros de Enseñanza Secundaria

Con la colaboración de profesores de enseñanzas previas a la Universidad se organizaron tres experiencias diferentes en tres escenarios distintos:

a) Instituto de Enseñanza Secundaria García Morato (Madrid)

- Curso: Primero de Bachillerato³
- Asignatura: Tecnología Industrial I.
- Número de alumnos participantes: 12
- Local de realización: Taller-Laboratorio y Aula de Informática.
- Metodología: Trabajo cooperativo en los puestos de laboratorio supervisado por el profesor.
- Tiempo dedicado: 3 sesiones presenciales de una hora.
- Actividades: Se utilizó eLab3D como complemento para verificar el funcionamiento de circuitos electrónicos básicos. El profesor orientó y supervisó en todo momento las acciones de los estudiantes en el mundo virtual.

b) Instituto de Enseñanza Secundaria María Zambrano (Leganés, Madrid)

- Curso: Segundo de Bachillerato.
- Asignatura: Tecnología Industrial II.
- Número de estudiantes participantes: 5, de forma voluntaria.
- Local de realización: Aula de Informática.
- Metodología: Trabajo autónomo del estudiante.
- Tiempo dedicado: 1 sesión presencial de una hora y el tiempo variable que cada estudiante necesitó para completar las actividades.
- Actividades: Tras una sesión de demostración de uso de la plataforma por parte del profesor, los estudiantes, cada uno a su ritmo y de forma autónoma, realizaron las cuatro tareas descritas en la práctica virtual que se propuso en la experiencia llevada a cabo en la ETSIST.

³ Se puede consultar el siguiente enlace para conocer el organigrama del sistema educativo español:
<http://www.educa.jccm.es/es/sistema-educativo/estructura-sistema-educativo>

TABLA I
 RESULTADOS EXPERIENCIA ETSIST Media (Desv.tip)

	Estudiantes	Profesores
Facilidad de utilización	3,8(0,6)	3,9(0,2)
Fiabilidad	4,2(0,5)	4,3(0,7)
Percepción de inmersión	3,9(0,4)	4,2(0,4)
Aprendizaje percibido	3,2(1,3)	4,7(0,3)
Utilidad	4,2(0,5)	4,6(0,2)
Satisfacción	4,3(0,5)	4,7(0,5)

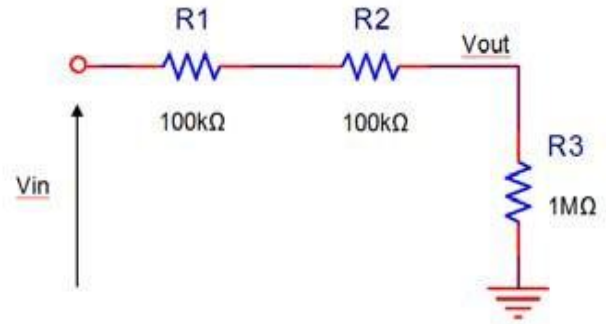


Figura 9. Circuito para realizar actividad 2

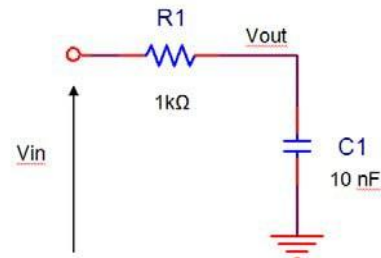


Figura 10. Circuito para realizar actividad 3

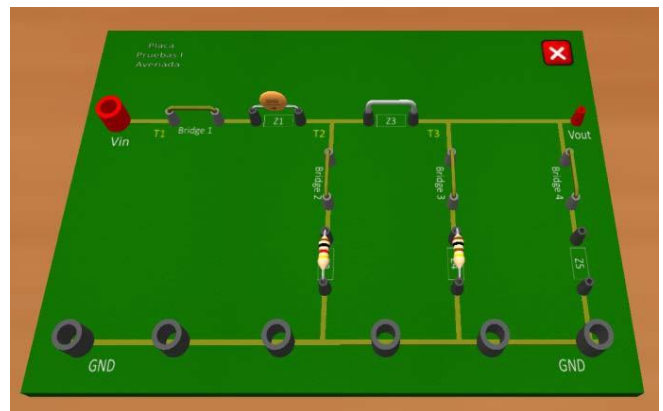


Figura 11. Circuito para realizar actividad 4

c) Instituto de Enseñanza Secundaria Satafi (Getafe, Madrid)

- Curso: Primero del Ciclo Formativo de Grado Superior Desarrollo de Productos Electrónicos.
- Asignatura: Electrónica Analógica.
- Número de estudiantes participantes: 5
- Local de realización: Taller-laboratorio y Aula de Informática.
- Metodología: Trabajo autónomo del estudiante.
- Tiempo dedicado: 1 sesión presencial de una hora y el tiempo variable que cada estudiante necesitó para completar las actividades.
- Actividades: El profesor mediante un video demostrativo presentó el funcionamiento de eLab3D. Posteriormente los estudiantes, de forma autónoma, completaron un tutorial para

familiarizarse con el manejo de los instrumentos y realizaron la práctica virtual que se propuso en la experiencia llevada a cabo en la ETSIST.

La implicación directa de los profesores y el número de alumnos que participaron en cada uno de los tres Centros permitió un análisis cualitativo de los resultados basados en “grupos focales”, con el fin de poder contextualizar y profundizar mejor en los diferentes factores.

V. CONCLUSIONES

La plataforma eLab3D es un recurso educativo que ofrece múltiples posibilidades en el ámbito de la enseñanza de la electrónica en complemento con otros laboratorios presenciales. La versatilidad de eLab3D, reflejada en varias de las experiencias que se han realizado hasta el momento, permite pensar que su uso aporta mejoras y enriquece los procesos de enseñanza-aprendizaje vinculados a la educación secundaria y superior.

El análisis de la experiencia desarrollada en la ETSIST reflejó que la fiabilidad del entorno fue muy elevada, aspecto muy importante para evitar el rechazo por parte de los estudiantes. Esto se manifestó en un escaso porcentaje de abandonos en las experiencias realizadas, a pesar de que el manejo del interfaz gráfico requiere una cierta destreza para moverse en el mundo virtual, que no todos los alumnos tienen inicialmente.

Otro aspecto que se destacó fue la elevada capacidad del mundo virtual para replicar los elementos y el ambiente de un laboratorio real. Destacó la convicción por parte del usuario de estar realizando un experimento real y no una simulación por ordenador, objetivo básico perseguido por un laboratorio remoto. La percepción de inmersión también fue valorada positivamente aunque el formato de la experiencia no permitía evaluar de manera intensa las posibilidades de la plataforma respecto a este aspecto.

En cuanto al aprendizaje percibido por parte de los estudiantes, que obtuvo la menor valoración, conviene destacar que tras entrevistas personales que se mantuvieron con ellos con posterioridad se descubrió que en su valoración había influido el tipo de circuitos que se habían elegido para la experiencia, considerados por algunos de ellos como demasiado sencillos.

Respecto a la valoración bastante elevada de los factores utilidad y satisfacción contribuyó a apoyar la idea sobre las posibilidades de la plataforma relacionadas con su capacidad para aumentar la motivación y el interés en los estudiantes.

El análisis cualitativo de las experiencias en los institutos de Enseñanza Secundaria permitió sacar conclusiones de los puntos fuertes y débiles de la plataforma en su uso como recurso educativo. Como aspectos positivos se destacaron los siguientes:

- Se trata de un entorno innovador que fomenta la motivación y el interés en los estudiantes.
- Se facilita el acceso a profesores y estudiantes aun equipamiento con prestaciones superiores al que disponen en sus centros.
- Se puede utilizar para afianzar los conocimientos teóricos que se imparten en las clases presenciales.
- Se puede utilizar en diferentes asignaturas o módulos del área de la electrónica.

- Se pueden utilizar locales adicionales a los talleres-laboratorios para poder completar las prácticas.

Como aspectos a mejorar se propusieron los siguientes:

- La calidad de la interacción con eLab3D es dependiente de las prestaciones del ordenador que se utilice, sobre todo las de la tarjeta gráfica que tenga instalada y el ancho de banda de la conexión a Internet disponible.
- Se debe dedicar un tiempo inicial para aprender a controlar la cámara del visor 3D que permite la visualización de los diferentes objetos del mundo virtual.
- Mayor disponibilidad de placas de pruebas no solo en el ámbito de la electrónica analógica sino también en el área de la electrónica digital.

Para finalizar conviene mencionar que la plataforma eLab3D está integrada en la red de laboratorios virtuales de la UPM. La idea de disponer de una red para compartir recursos de diferentes disciplinas, con acceso a la misma mediante visores 3D de libre distribución, es una propuesta sobre la que convendría profundizar ya que se podría conseguir, de una forma no muy costosa con el *Know-how* adquirido, que cualquier institución educativa pudiera acceder a dichos recursos.

Como trabajo futuro están previstas nuevas experiencias de uso en las que participen nuevas instituciones de enseñanza superior y secundaria. En dichas experiencias se intentará analizar el grado de adquisición de competencias prácticas asociadas a diferentes asignaturas de titulaciones de grado del área de la electrónica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento por la colaboración prestada en la realización de las diferentes experiencias a la profesora Olga López del IES García Morato de Madrid, al profesor José González del IES María Zambrano de Leganés (Madrid) y al profesor Julio Medina del IES Satafi de Getafe (Madrid).

REFERENCIAS

- [1] L. Feisel and A. Rosa, “The role of the laboratory in undergraduate engineering education”, *Journal of Engineering Education*, vol. 94, no.1, pp. 121-130, Jan. 2005
- [2] N. J. Nersessian, “Conceptual change in science and in science education”, In *History, Philosophy and Science Teaching*, M.R. Matthews, Ed. OISE Press, Toronto, Canada, 133-148. 1991
- [3] G. D. Peterson and L.D. Feisel. E-Learning: The Challenge for Engineering Education. *Proceedings of the 2002 eTEE Conference* 11-16 August 2002 Davos, Switzerland.
- [4] ABET: Criteria for Accrediting Engineering Programs. 2012
- [5] Iniciativa “Conceive Design Implement Operate” (CDIO). Disponible en: <http://www.cdio.org/>
- [6] ENAEE (2008) EUR-ACE. *Framework Standards for the Accreditation of Engineering Programmes*. Disponible en: <http://www.enace.eu/eur-ace-system/eur-ace-framework-standards>
- [7] J. García-Zubía y G. Alves (eds.), *Using Remote Labs in Education*, University of Deusto, Bilbao, 2011.
- [8] Y.H. Elawady and A.S. Tolba, “Educational objectives of different Laboratory Types: A Comparative Study”, *IJCSIS*, vol.6, no. 2, 2009.
- [9] M. P. Clough, “Using the laboratory to enhance student learning”. In *Learning Science and the Science of Learning*, R.W. Bybee, Ed. National Science Teachers Association, Washington, DC 85-97. 2002

- [10] J. Ma and J.V. Nickerson, "Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review", *ACN Computing Surveys*, vol.38, no. 3, Article 7, Sept. 2006.
- [11] J. García-Zubía, D. Lopez-de-Ipiña y P. Orduña, "Evolving Towards Better Architectures for Remote Laboratories: A Practical Case". *International Journal of Online Engineering*, Vol. 1, no. 2, pp. 1-11, Nov.2005
- [12] C. Gravier, J. Fayolle, B. Bayard, M. Ates and J. Lardon, "State of the Art About Remote Laboratories Paradigms-Foundations of ongoing Mutations". *International Journal of Online Engineering*, vol.4, Issue 1, Feb. 2008
- [13] R.C- Calle, C.J Río y N. F. Robaina, "Análisis DAFO de la utilidad de las Plataformas online para el entrenamiento de competencias de estudiantes universitarios". *EDUTECH*. no. 42- Dec. 2012.
- [14] D.B. Diez. "Laboratorio remoto de eficiencia energética integrado en redes de generación distribuida". *Tesis Doctoral presentada en la Universidad Nacional de Educación a Distancia- España* en 2012.
- [15] L. Gomes and S. Bogosyan, "Current trends in remote laboratories", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 12, pp. 4744-4756, Dec. 2009
- [16] A. V. Fidalgo, G. R. Alves, M. A. Marques, M. C. Viegas, M. C. Costa- Lobo, U. Hernández, J. Gaercía Zubía y I. Gustavsson, "Adaptação de Laboratórios Remotos a Cenários de Ensino: Casos de Estudo com VISIR e RemotElectLab", *VAEP-RITA*, vol.1, no. 2, pag 135-141, Jun2013
- [17] A. Bagnasco et al., "A Modular and Extensible Remote Electronic Laboratory", *International Journal of Online Engineering*, Vol. 1, no 1, pp. 1-6, Jun 2005
- [18] L. Johnson, S. Adams, V. Estrada, and S. Martín. (2013). *Technology Outlook for STEM+Education2013-2018: An NMC Horizon Project Sector Analysis*. The New Media Consortium, Austin, Texas. <http://www.nmc.org/pdf/2013-technology-outlook-for-STEM-education.pdf>. 2014
- [19] I. Gustavsson, "On remote electronics experiments", in *Using Remote Labs in Education*, J. García Zubía and G. R. Alves (eds.), University of Deusto, Bilbao, 2011, pp. 157-176
- [20] Z. Nedic and J. Machotka, "Remote laboratory NetLab for effective teaching of 1st year engineering students", *International Journal of Online Engineering*, vol. 3, no. 3, 2007.
- [21] M.J. Callaghan, K. McCusker, J. Lopez, J. Harkim, and S. Wilson, "Using Game-Based Learning in Virtual Worlds to Teach Electronic and Electrical Engineering," *IEEE Trans. Ind. Inform.* vol. 9, no. 1, pp.575-584, Feb. 2013



Sergio López Gregorio es Ingeniero Técnico en Equipos Electrónicos por la Universidad Politécnica de Madrid y Licenciado en Documentación por la Universidad Oberta de Cataluña. Actualmente es profesor titular en el Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Su investigación se centra en los

Sistemas Automáticos de Medida, Laboratorios Remotos, Instrumentación virtual y eLearning.



Antonio Carpeño Ruiz es Ingeniero Técnico en Equipos Electrónicos por la Universidad Politécnica de Madrid y Doctor en Ciencias de la Educación por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente es profesor titular en el Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Su investigación se centra en los Laboratorios Remotos,

formación en entornos online, Microprocesadores y aplicaciones basadas en SoC y Linux empujado.



Jesús Arriaga García de Andoain es Doctor e Ingeniero de Telecomunicaciones por la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente es catedrático de escuela universitaria en el Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Ha sido adjunto al Vicerrector de Ordenación Académica y Planificación Estratégica desde 2004 a 2012. Es el actual Presidente de la Asociación TAAE (Tecnologías, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica). Su investigación se centra en el diseño curricular e inserción laboral en el ámbito de la ingeniería, en los sistemas de garantía interna de calidad del ámbito universitario y en la enseñanza mediada por Internet.