

Integración de un laboratorio remoto de electrónica en una asignatura de grado

Antonio Carpeño, Sergio López, Mariano Ruiz, Jesús Arriaga, Guillermo de Arcas y Eduardo Barrera
Departamento de Ingeniería Telemática y Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

Abstract—eLab3D es un laboratorio remoto para la realización de prácticas de análisis y diseño de circuitos electrónicos a distancia. Para ello, se dispone de un mundo virtual 3D basado en Opensim a través del cual se maneja una instrumentación real y se construyen circuitos también reales. Tras un conjunto de experiencias piloto desarrolladas durante los últimos años, eLab3D ha alcanzado un grado de madurez que ha animado a sus creadores a introducirlo como herramienta disponible para los estudiantes de una asignatura de grado en ingeniería de telecomunicaciones. De esta forma los estudiantes que así lo decidieron realizaron la totalidad de las prácticas de laboratorio de manera remota, sin necesidad de trasladarse a las instalaciones de laboratorio del centro. Con el estudio que se presenta se ha pretendido comprobar la eficacia de eLab3D para formar a los estudiantes en las competencias y resultados de aprendizaje establecidos en la asignatura. Para ello se ha llevado a cabo un estudio experimental mediante grupo de control y grupo con tratamiento y se han analizado las diferencias obtenidas entre ambos grupos en aprendizaje alcanzado por los estudiantes.

Keywords— *remote laboratory, electronic engineering education, virtual worlds, elearning, opensim.*

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza en el área de la ingeniería se basa en un uso intensivo de conceptos relacionados con las ciencias y las matemáticas, los cuales requieren para su comprensión la ejecución de numerosas actividades prácticas, muchas de ellas a desarrollar en laboratorios que no son fáciles de implementar en formato online. A pesar de estos inconvenientes, la formación online en el área de la ingeniería hace ya unos cuantos años que está siendo utilizada, aunque no sea de forma uniforme, en todas las disciplinas de la ingeniería.

Para que la formación online en el área de la ingeniería sea ampliamente aceptada y utilizada es necesario que se cumplan los siguientes requisitos[1]:

- La calidad de los cursos online debe ser comparable o mejor que la de los cursos presenciales.
- Los cursos deben estar disponibles para los estudiantes cuando se necesiten y deben ser accesibles desde cualquier lugar (“anytime and anywhere”).
- La disponibilidad de cursos se debe extender a todas las disciplinas de la ingeniería.

Hoy en día nadie concibe la enseñanza en cualquier rama de las ciencias e ingeniería sin incluir una formación experimental, sin embargo durante muchos años no se prestó un especial interés en definir y evaluar las competencias que un estudiante debía alcanzar en los laboratorios [2]. Esta falta de definición de competencias supone un gran inconveniente, sobre todo, cuando se pretenden analizar las posibilidades docentes que se pueden lograr con la incorporación al ámbito educativo del ordenador e Internet [3][4].

Encontrar información donde se especifiquen de forma directa y explícita los objetivos de aprendizaje que se deben alcanzar en un laboratorio de ingeniería no es una tarea sencilla. Una buena catalogación del conjunto de resultados de aprendizaje que se pretende que los estudiantes de electrónica alcancen en el laboratorio los distribuye en torno a tres dominios: el dominio cognitivo, Instrumentación, Modelos, Experimento, Análisis de datos y Diseño; el dominio psicomotriz, Psicomotricidad y Conocimiento sensorial; y el dominio afectivo, Aprender de los Fallos, Creatividad, Seguridad, Comunicación, Trabajo en equipo y Ética en el laboratorio [5].

II. EVOLUCIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA PLATAFORMA ELAB3D

El desarrollo de la plataforma eLab3D fue finalizado en el año 2012 y el detalle acerca de sus prestaciones y características ha sido presentado en diferentes trabajos [6][7][8]. Por lo tanto, no es este el lugar para entrar en demasiado detalle sobre estos asuntos. Sin embargo, nos parece relevante en este momento resumir, siquiera de forma breve qué aspecto visual tiene esta herramienta y cuál ha sido su evolución a los largo de estos 3 años desde su creación.

El punto de partida que se ha tenido en cuenta para el desarrollo físico de los objetos del mundo virtual ha sido la emulación de un espacio, a nivel de mobiliario e instrumentación, parecido al que existe en los laboratorios de electrónica ubicados en centros universitarios. La figura 1 muestra los elementos del puesto de laboratorio que se encuentran los estudiantes cuando se disponen a realizar las prácticas mediante su avatar.



Fig. 1. Puesto de laboratorio completo en el Mundo Virtual Remoto eLab3D

Para comprobar la utilidad docente de la plataforma eLab3D desde su puesta en marcha se planificaron diferentes experiencias. En el primer semestre del curso 2012-13 se llevaron a cabo estudios de percepción de uso en los que participaron estudiantes, profesores universitarios y de enseñanza secundaria y profesionales no docentes del ámbito de las telecomunicaciones. Los resultados que se obtuvieron en dichos estudios fueron muy positivos en cuanto a la valoración de factores como la facilidad de utilización, fiabilidad de la plataforma, percepción de inmersión, aprendizaje percibido y utilidad y satisfacción con la plataforma [9][10][11].

Una vez concluidas las fases de pruebas y las experiencias iniciales de uso con la plataforma eLab3D, el siguiente paso planificado, fue la comprobación de su eficacia educativa. Para ello se decidió, siguiendo pautas similares a las realizadas en otras investigaciones consultadas [12][13][14], realizar estudios que evaluaran la existencia de diferencias en la adquisición de resultados de aprendizaje entre estudiantes de grupos presenciales (realizando prácticas en un laboratorio tradicional) y online (realizando prácticas utilizando la plataforma eLab3D). La siguiente experiencia, centrada ya en analizar el aprendizaje de los estudiantes con el uso de eLab3D, se realizó en el marco de la asignatura Electrónica Analógica I del Grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones que se imparte en la UPM. Se buscaba realizar un primer estudio de eficacia de la herramienta, por lo que parecía prudente que los estudiantes utilizaran la herramienta solamente como complemento a un aprendizaje presencial en el laboratorio real. Y que la experiencia solamente afectase a una parte concreta de las prácticas y no al conjunto de prácticas a realizar a lo largo del semestre. Los resultados fueron alentadores, en la medida que se demostró que en la práctica realizada a distancia no se encontraron diferencias significativas entre los estudiantes a distancia y los presenciales[15].

En cierto modo, los autores consideramos en ese momento que era oportuno dar un paso adelante y proponer a los estudiantes la realización mediante eLab3D del conjunto completo de prácticas, como alternativa a su realización físicamente en el laboratorio. Los resultados obtenidos en esta experiencia son los que se exponen en este trabajo.

III. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La experiencia se llevó a cabo en el segundo semestre del curso académico 2013-14 y se realizó en la asignatura de primer curso Electrónica I (EI) que se imparte en las cuatro titulaciones de grado de la ETSIST. Los estudiantes matriculados en esta asignatura han cursado una asignatura previa en la que han adquirido conocimientos básicos teóricos y prácticos sobre las técnicas de análisis de circuitos en continua y alterna.

El modo de introducir el uso de la plataforma eLab3D en la asignatura que se ha llevado a cabo no ha seguido un criterio avalado por otras investigaciones ya que no existen pautas claras que indiquen la forma de integrar los laboratorios remotos en el programa académico de una asignatura [3][16]. La estrategia que se decidió seguir fue diseñada por los profesores encargados de planificar las tareas docentes en las asignaturas relacionadas con el área de la electrónica analógica que se imparten en las titulaciones de grado de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST) de la Universidad Politécnica de Madrid. En la selección de la asignatura y el modo de utilizar eLab3D intervinieron los siguientes criterios:

- Utilizar el recurso con estudiantes de diferentes tipologías. La asignatura Electrónica Analógica I es una asignatura de especialidad que solo cursan estudiantes de la titulación de grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones, mientras que la asignatura Electrónica I es una asignatura de carácter básico cursada por

estudiantes de cuatro titulaciones de grado con programas centrados en diferentes áreas de la ingeniería (telemática, sistemas de telecomunicación, sonido e imagen y electrónica).

- Planificar un uso diferenciado del recurso en las actividades prácticas programadas en la asignatura. En la asignatura Electrónica Analógica I se planificó el uso de eLab3D solo en la primera práctica de la asignatura y en la asignatura Electrónica I se ha planificado su utilización en todas las prácticas previstas en la asignatura.

Para realizar los estudios se llevó a cabo una investigación experimental en la que se formaron dos grupos de sujetos para establecer las comparaciones entre ellos. El grupo experimental (O) incluía a los estudiantes que realizaron las actividades prácticas haciendo uso de la plataforma eLab3D y el grupo de control (P) incluía a los estudiantes que realizaron sus actividades en un laboratorio presencial. Para realizar las comparaciones entre los grupos se tuvieron en cuenta las pautas recomendadas al realizar análisis basados en el uso de estadística inferencial [17]. Todos los resultados estadísticos se obtuvieron utilizando el programa SPSS (versión 18).

La asignación de los estudiantes en las experiencias a los grupos de control y experimental no fue aleatorio. El grupo experimental se formó con estudiantes voluntarios. Este hecho ha hecho necesario verificar la homogeneidad de los grupos de control y experimental respecto a la existencia de posibles variables que pudieran afectar al resultado de los estudios. Por tanto, el diseño de la investigación que se ha adoptado como el más apropiado es el basado en el pretest-postest.

Los datos que se recopilaban para poder realizar los estudios en las experiencias que se llevaron a cabo fueron los siguientes:

- Calificaciones de pruebas individuales sobre conocimientos iniciales para determinar posibles diferencias entre los grupos (pretest).
- Tiempos de dedicación a la realización de las diferentes actividades prácticas indicados por los estudiantes al finalizar las mismas. En el caso de los estudiantes de los grupos experimentales se utilizó el fichero log que proporciona la plataforma para conseguir una medida objetiva adicional del tiempo empleado por los estudiantes.
- Calificaciones de las pruebas de evaluación realizadas por los estudiantes (postest). Estas pruebas permitían valorar el grado de adquisición de los resultados de aprendizaje previstos en las prácticas.

También se decidió utilizar un cuestionario para conocer la opinión de los estudiantes de los grupos de control y experimental sobre el aprendizaje percibido. Las preguntas que se incluyeron son las siguientes:

- Q1L. He mejorado mi comprensión de los aspectos teóricos asociados a las mediciones de corrientes, tensiones, etc., que se abordan en la práctica

Q2L. Las habilidades adquiridas me facilitarán la realización de las prácticas posteriores del laboratorio

Q3L. He mejorado mis habilidades para un manejo básico de los instrumentos de laboratorio

Q4L. He mejorado mi habilidad para realizar la interconexión de sondas, conectores, etc., de forma adecuada

Q5L. He mejorado mi comprensión sobre el montaje de circuitos electrónicos a partir del esquema del mismo

Q6L. He mejorado mi comprensión sobre el procedimiento de experimentación con circuitos electrónicos (análisis teórico, montaje, prueba y verificación del funcionamiento)

Fueron valoradas mediante una escala de tipo Likert, con respuestas con rangos entre 1 (nada de acuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo).

La hipótesis de investigación que se deseaba comprobar se planteó en los siguientes términos:

El rendimiento académico de los estudiantes del grupo experimental no es significativamente diferente al rendimiento académico de los estudiantes del grupo de control respecto al desarrollo de las prácticas de laboratorio programadas en la asignatura.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

La experiencia se realizó vinculada a las cuatro prácticas de laboratorio programadas en la asignatura. Los objetivos básicos de cada práctica se indican a continuación:

- Práctica 1: Configurar de forma adecuada los instrumentos de laboratorio (fuente de alimentación, generador de funciones, osciloscopio y multímetro). Medir los parámetros básicos de señales sinusoidales, cuadradas y triangulares.
- Práctica 2: Analizar el funcionamiento de un rectificador de media onda con y sin filtro por condensador y un voltaje de referencia basado en un diodo Zener.
- Práctica 3: Analizar el funcionamiento de un transistor MOSTET trabajando en las zonas óhmica y saturación.
- Práctica 4: Analizar el funcionamiento de un amplificador inversor y no inversor basados en amplificador operacional.

En la Figura 2 se muestran algunos de los circuitos con los que los estudiantes trabajaban en el mundo virtual para diseñar y configurar los circuitos correspondientes a estas prácticas.

El grupo experimental estuvo constituido por 31 estudiantes que eligieron trabajar con la plataforma eLab3D de forma voluntaria, utilizando un conjunto de 12 puestos. El grupo de control también estuvo formado por 31 estudiantes, en este caso elegidos al azar entre los que realizaron las prácticas de forma presencial.



Fig. 2. Ejemplos de Tarjetas Virtuales de Circuitos Electrónicos Analógicos

Los estudiantes del grupo de control realizaron las prácticas por parejas mientras que los del grupo experimental las realizaron de forma individual, aunque se les recomendó el trabajo colaborativo haciendo uso de las herramientas de comunicación disponibles en la plataforma. Los estudiantes de ambos grupos tuvieron que realizar las siguientes actividades:

1. Realización de una prueba escrita relacionada con los contenidos que se abordan en las prácticas del laboratorio (pretest).
2. Realización de todas las actividades incluidas en las prácticas (postest). Los contenidos de las prácticas para los grupos de control y experimental fueron muy similares. Los relacionados con la práctica 1 eran un poco más extensos al incluirse un breve tutorial sobre el manejo de la plataforma eLab3D. En la práctica 4 se incluyó una breve actividad presencial para los estudiantes del grupo experimental con el objetivo de poder valorar su interacción con los instrumentos de laboratorio reales. La calificación de cada práctica se basó en la evaluación de un documento que incluía los resultados obtenidos por los estudiantes. El tiempo requerido para realizar cada práctica fue solicitado en el cuestionario que debían completar los estudiantes.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez los datos estuvieron disponibles se realizó un análisis comparativo entre los grupos de control (P) y experimental (O). Para realizar la comparación de los datos correspondientes al pretest, postest y los tiempos dedicados a la realización de las prácticas se utilizó la prueba t-Student para muestras independientes. En las Tabla I y II se muestran los resultados de los estadísticos descriptivos y de las pruebas realizadas.

TABLA I. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

Valores	Experimental (O)			Control (P)		
	N	Media	DT	N	Media	DT
Pretest (0-10)	31	4,57	1,58	31	4,90	1,84
Postest (0-10)	31	6,88	1,55	31	6,44	1,47
Tiempo dedicado (h)	31	14,87	2,70	31	14,09	2,11

TABLA II. PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE CONTRASTE

	Prueba	Estadístico	p-valor
Pretest	t-Student	$t(60) = -0,74$	0,462
Posttest	t-Student	$t(60) = 1,14$	0,260
Tiempo dedicado (h)	t-Student	$t(60) = 1,21$	0,231

Del análisis de los resultados obtenidos se extrajeron las siguientes conclusiones:

1. La diferencia entre las calificaciones medias obtenidas en el pretest entre el grupo de control y el experimental no fue estadísticamente significativa ($p=0,462$). Por tanto, se pudo considerar que los estudiantes de ambos grupos poseían unos conocimientos iniciales similares para desarrollar las prácticas de laboratorio.
2. La diferencia entre las calificaciones medias obtenidas en el posttest entre el grupo de control y el experimental no fue estadísticamente significativa ($p=0,260$). Por tanto, se pudo considerar que el uso de la plataforma eLab3D no influyó en la existencia de diferencias en las calificaciones de los dos grupos en el posttest.
3. La diferencia entre el tiempo medio dedicado a la realización del tutorial del grupo de control y del grupo experimental no fue estadísticamente significativa ($p=0,231$). Por tanto, se pudo considerar que el uso de la plataforma eLab3D no tuvo una influencia significativa en los tiempos dedicados por los estudiantes del grupo experimental para completar las prácticas.

Como conclusión final se puede determinar que la hipótesis de partida planteada inicialmente es válida, es decir, en el rendimiento académico obtenido por los estudiantes de los grupos experimental y de control tras la realización de las prácticas no hubo diferencias significativas.

Respecto a los tiempos de dedicación de los estudiantes se analizaron los dedicados a la realización de cada una de las prácticas. En la Figura 3 se muestran los tiempos medios dedicados por los estudiantes de los grupos de control y experimental en la realización de cada práctica, según la propia valoración de los estudiantes. Este tiempo incluye todo el que han necesitado tanto para la preparación previa como para la realización de las tareas experimentales propiamente dichas.

Se puede observar que el tiempo dedicado a la realización de la primera práctica, por parte de los estudiantes del grupo experimental, fue bastante superior al dedicado por los estudiantes del grupo de control. Este hecho tenía su justificación en el tiempo adicional que era necesario dedicar

para instalar el visor 3D y aprender a manejar el entorno virtual.

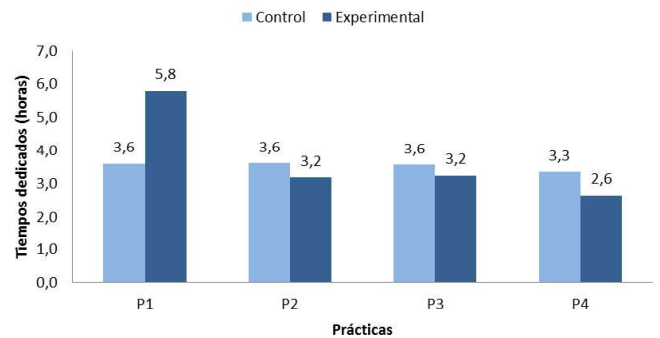


Fig. 3. Tiempos medios dedicados por los estudiantes en cada práctica

Por otra parte se pudo constatar que en la realización de las prácticas restantes los estudiantes del grupo experimental dedicaron menos tiempo que los del grupo de control. Para intentar justificar este hecho se analizaron los ficheros log que genera la plataforma y se pudo comprobar que los tiempos dedicados a realizar las actividades relacionadas con los montajes y conexiones de cables y sondas eran inferiores a los requeridos por los estudiantes del grupo de control.

Las valoraciones sobre el aprendizaje percibido aportadas por los estudiantes en los cuestionarios se muestran en la Figura 4. Se puede observar claramente que las valoraciones de los estudiantes del grupo experimental fueron superiores en todas las cuestiones a las de los estudiantes del grupo de control. En los resultados obtenidos hay que destacar que se observaron diferencias superiores al 20% en opiniones favorables (puntuaciones mayores o iguales a 4) de los estudiantes del grupo experimental frente a los estudiantes del grupo de control en las cuestiones Q1L y Q2L.

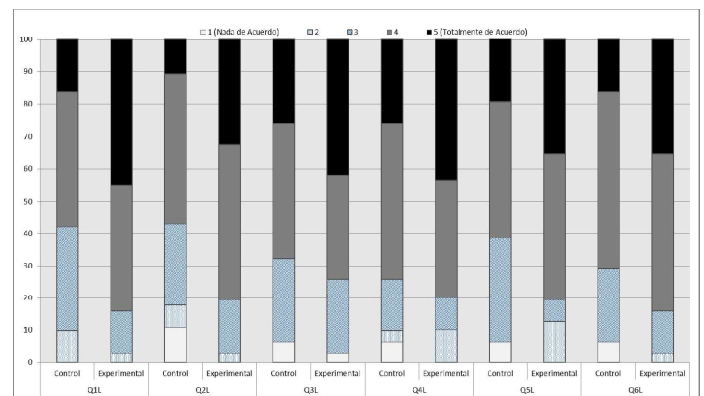


Fig. 4. Valoraciones de los estudiantes sobre el aprendizaje percibido.

Por último, es importante destacar los resultados obtenidos por los estudiantes del grupo experimental en la prueba presencial de la práctica 4. Dicha prueba fue superada por el 77% de los estudiantes y permitió comprobar a los profesores que las destrezas alcanzadas respecto al manejo de los

instrumentos de laboratorio y al montaje y medida de los circuitos eran muy similares a las alcanzadas por los estudiantes del grupo de control.

VI. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mostraron una clara preferencia, por parte de los estudiantes de los grupos experimentales, a un formato para la realización de las prácticas de laboratorio en el que se combine el uso de la plataforma eLab3D con la actividad desarrollada en el laboratorio presencial. Esta opinión, en la que se propone el uso del laboratorio remoto como un complemento a la enseñanza presencial y no como un sustituto de la misma, es la que puede permitir un aprendizaje más eficaz de los estudiantes y es además la compartida en otras investigaciones relacionadas con el uso de laboratorios remotos en el ámbito educativo [4][18].

Tras la valoración global de todos los resultados obtenidos en las experiencias docentes realizadas haciendo uso de la plataforma eLab3D se pueden extraer una serie de recomendaciones que pueden ser de utilidad a la comunidad educativa que tenga interés en el uso de estas tecnologías:

- Es recomendable reducir el tiempo dedicado a familiarizarse con el manejo del visor 3D y el entorno virtual. Para ello se recomienda realizar una presentación inicial presencial o mediante videos que faciliten el contacto con la plataforma.
- Es aconsejable que el uso de la plataforma se realice en todas o la mayor parte de las actividades prácticas que estén programadas en el curso. De esta forma los estudiantes no verán el esfuerzo inicial dedicado al aprendizaje del manejo de la plataforma como un inconveniente. Dicho esfuerzo será compensado con posterioridad con las ventajas de accesibilidad y disponibilidad inherentes a un laboratorio remoto.
- Es importante que se puedan intercalar con las actividades online alguna actividad presencial para que los estudiantes puedan tener un contacto directo con los instrumentos y circuitos en el laboratorio real y puedan también verificar los avances en su aprendizaje.
- Es fundamental, para evitar la sensación de aislamiento que puedan tener los estudiantes y aportar la realimentación necesaria para por parte de los profesores, que se realicen, en el periodo de desarrollo de cada práctica, tutorías individuales o colectivas en el mundo virtual y, al término de cada práctica, reuniones virtuales o presenciales con los estudiantes donde se les indique los errores cometidos.

Por último, es importante destacar que tras la realización de la experiencia todos los resultados obtenidos fueron analizados por los profesores vinculados a la misma. Fruto de dicho análisis y de las valoraciones reflejadas por los profesores que habían sido responsables de la docencia en los diversos grupos se tomó la decisión de seguir utilizando la plataforma eLab3D como recurso complementario en la enseñanza de la asignatura Electrónica I. Incluso se llegaron a

extraer un conjunto de consideraciones acerca de futuras líneas de trabajo que habría que emprender para obtener el máximo beneficio de la utilización de eLab3D en su asignatura:

- Potenciar el uso de tutorías en el entorno virtual para solventar dudas relacionadas con el uso de los instrumentos o el funcionamiento de los circuitos.
- Analizar estrategias para posibilitar en mayor medida el trabajo colaborativo entre los estudiantes en las prácticas.
- Analizar nuevos formatos de aprendizaje que combinen el uso de la plataforma eLab3D y las clases presenciales en los laboratorios.
- Estudiar la implementación de un método de asistencia automático integrado en el mundo virtual que pueda ofrecer ayuda al estudiante en cualquier momento. Asimismo se debe trabajar en el desarrollo de una aplicación que facilite al profesor la evaluación de la actividad del estudiante.

REFERENCES

- [1] BOURNE, J., HARRIS, D. and MAYADAS, F., 2005. Online engineering education: Learning anywhere, anytime. *Journal of Engineering Education*, **94**(1), pp. 131-146.
- [2] NERSESSIAN, N.J., 1989. Conceptual Change in Science and in Science Education. *Synthese*, **80**(1), pp. 163-183.
- [3] COOPER, M., 2005. Remote laboratories in teaching and learning—issues impinging on widespread adoption in science and engineering education. *International Journal of Online Engineering*, **1**(1),.
- [4] LINDSAY, E.D. and WANKAT, P.C., 2012. Going the way of the slide rule: can remote laboratories fungibly replace the in-person experience? *International Journal of Engineering Education*, **28**(1), pp. 192-201.
- [5] LÓPEZ GREGORIO, S., CARPEÑO, A., ARRIAGA, J. and RUIZ GONZÁLEZ, M., 2014b. Utilización del Laboratorio Remoto eLab3D en la Enseñanza de la Electrónica Analógica, *XI Congreso en Tecnologías, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2014* 2014b, pp. 383-390.
- [6] CARPEÑO, A., LÓPEZ GREGORIO, S., ARRIAGA, J. and RUIZ GONZÁLEZ, M., 2014a. Demostración de la Plataforma Educativa eLab3D para el Aprendizaje de la Electrónica, *XI Congreso de Tecnologías, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2014* 2014a, pp. 230-234.
- [7] CARPEÑO, A., LÓPEZ GREGORIO, S. and ARRIAGA, J., 2014b. Using remote laboratory eLab3D for a broader practical skills training in electronics, *11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2014)* 2014b, pp. 98-99.
- [8] LÓPEZ GREGORIO, S., CARPEÑO, A., DE ARCAS, G., CONTRERAS, D., SALAZAR, J. and BARRAS, M., 2013. Laboratorio remoto eLab3D: un entorno innovador para el aprendizaje de competencias prácticas en electrónica, *II Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2013)* 2013, pp. 41-46.
- [9] LÓPEZ GREGORIO, S., CARPEÑO, A. and ARRIAGA, J., 2014a. Laboratorio Remoto eLab3D, un Recurso Complementario en la Formación del Ingeniero. *VAEP-RITA*, **2**(3), pp. 131-138.
- [10] LÓPEZ GREGORIO, S., CARPEÑO, A. and ARRIAGA, J., 2015. Remote Laboratory eLab3D: A Complementary Resource in Engineering Education. *Tecnologías del Aprendizaje, IEEE Revista Iberoamericana de*, **10**(3), pp. 160-167.
- [11] LÓPEZ GREGORIO, S., CARPEÑO, A. and ARRIAGA, J., 2014c. Laboratorio remoto eLab3D: Un mundo virtual inmersivo para el aprendizaje de la electrónica, *11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2014)* 2014c, pp. 100-105.

- [12] OKUTSU, M., OKUTSU, M., DELAURENTIS, D., BROPHY, S. and LAMBERT, J., 2013. Teaching an aerospace engineering design course via virtual worlds: A comparative assessment of learning outcomes. *Computers and education*, **60**(1), pp. 288-298.
- [13] OGOT, M. and ELLIOTT, 2003. An assessment of in-person and remotely operated laboratories. *Journal of engineering education (Washington, D.C.)*, **92**(1), pp. 57.
- [14] MAU-TSUEN YANG, YANG, M. and LIAO, W., 2014. Computer-Assisted Culture Learning in an Online Augmented Reality Environment Based on Free-Hand Gesture Interaction. *IEEE transactions on learning technologies*, **7**(2), pp. 107-117.
- [15] LÓPEZ GREGORIO, S., CARPEÑO, A., ARRIAGA, J. and RUIZ GONZÁLEZ, M., 2014b. Utilización del Laboratorio Remoto eLab3D en la Enseñanza de la Electrónica Analógica, XI Congreso en Tecnologías, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2014 2014b, pp. 383-390.
- [16] TURTLE, S.W., LOWE, D.B. and MOULTON, B., 2011. A survey of issues and approaches to remote laboratory adoption by teacher-academics, *First Global Online Laboratory Consortium Remote Laboratories Workshop (GOLC) 2011*, pp. 1-6.
- [17] WEINBERG, S.L. and ABRAMOWITZ, S.K., 2008. *Statistics using SPSS: an integrative approach*. 2^a edn. New York: Cambridge University Press.
- [18] MARQUES, M.A., VIEGAS, M.C., COSTA-LOBO, M.C., FIDALGO, A.V., ALVES, G.R., ROCHA, J.S. and GUSTAVSSON, I., 2014. How Remote Labs Impact on Course Outcomes: Various Practices Using VISIR. *Education, IEEE Transactions on*, **57**(3), pp. 151-159.