

Importancia de los laboratorios remotos y virtuales en la educación superior

Importance of Remote and Virtual Labs in Higher Education

D. C. Herrera¹, K. Triana², W. Mesa³

Universidad Nacional Abierta y Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Bogotá D.C., Colombia

Cofinanciado por Programa Erasmus+ de la Unión Europea

Resumen

Los laboratorios remotos y virtuales, en los campos de: ciencias, ingenierías y tecnologías, surgieron como un complemento a la enseñanza de la experimentación presencial y se fortalecieron principalmente en los centros de educación superior. La evolución en este tipo de enseñanza se debe principalmente al avance de las tecnologías de la información; y actualmente ha tomado relevancia debido a la pandemia de la COVID-19, como herramienta fundamental en la educación. La modalidad virtual y remota para la enseñanza de la experimentación presenta varias ventajas en comparación a los laboratorios presenciales; la principal, la reducción de costos y el poder llegar a estudiantes a distancias lejanas con acceso a internet. En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica de los trabajos referentes en el campo de laboratorios remotos y virtuales, en áreas de ciencias e ingeniería. Se realiza primero la introducción a la temática, siguiendo con la presentación de los principales proyectos a nivel mundial tanto para laboratorios virtuales y remotos, presentando especial atención al proyecto World Pendulum Alliance, proyecto de laboratorios remotos a nivel global, que pretende realizar la instalación de un sistema de péndulos para medir la gravedad a lo largo de diferentes países y en el cual participa la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Este trabajo muestra la importancia de los laboratorios virtuales y remotos, en la educación superior y discute aspectos relevantes para la efectividad de implementación en la educación superior.

Palabras clave: *educación a distancia, educación en ingeniería, enseñanza de la física, laboratorios.*

Abstrac

Remote and virtual laboratories, in the fields of: science, engineering and technology, arose as a complement to the teaching of hands-on laboratories and are mainly strengthened in

¹ *diana.herrera@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2908-4442>*

² *karla.triana@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-1923-5187>*

³ *wnmesam@unadvirtual.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-3090-7845>*

higher education centers. The evolution in this type of teaching is mainly due to the advancement of information technologies; and currently it has become relevant in times of pandemic of COVID-19 as a fundamental tool in education. Virtual and remote experimentation has several advantages compared to hands-on laboratories; the main one is reducing costs and being able to reach students at larger distances with internet access. This work presents a bibliographic review of the reference works in the field of remote and virtual laboratories, in the areas of science and engineering. The introduction to the subject is made first, followed by the presentation of the main projects worldwide for both virtual and remote laboratories. It presents special attention to the World Pendulum Alliance, a project of Remote Laboratories at a global level, which will allow the installation of a pendulum system to measure gravity along multiples countries with the participation of Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. This work shows the importance of virtual and remote laboratories, in higher education, and discusses relevant aspects for the effective application of this mode of teaching.

Key words: *distance learning, engineering education, laboratorie, physics education.*

1. Introducción

En la actualidad en tiempos de la pandemia de la COVID-19 ha cobrado relevancia la educación virtual y a distancia. Ya durante los últimos años debido a la globalización de la educación y de la economía, la educación virtual y a distancia venía tomando un importante espacio (Potkonjak *et al.*, 2016) debido principalmente a que: i) permite el ahorro de costos en infraestructura a las universidades, que son trasladados en reducción de costos de matrículas de los estudiantes; ii) ahorro en tiempo y costos en los desplazamientos de los estudiantes. Sin embargo, uno de los desafíos en la educación a distancia ha sido la formación

en experimentación en los campos de ciencia, ingeniería y tecnologías. La formación en experimentación es esencial (Heradio *et al.*, 2016; Colwell, Scanlon & Cooper, 2002; Chen Song, & Zhang, 2010); algunos autores han citado que la experimentación es el corazón del aprendizaje en ciencia e ingeniería y que los resultados de aprendizaje obtenidos en la experimentación tienen un fuerte impacto en los resultados de aprendizaje de los estudiantes (Ma & Nickerson, 2006; Tilman, 2010).

La formación en experimentación se realiza tradicionalmente en los denominados laboratorios presenciales. Estos se llevan a cabo en un espacio delimitado, con el estudiante frente a un montaje experimental con el que puede interactuar. Las prácticas de laboratorio presenciales son guiadas por un docente que usualmente imparte un componente de instrucción y luego está supervisando el trabajo de los estudiantes. Los laboratorios físicos ofrecen diferentes materiales y

equipos para el montaje experimental para el estudio de temáticas específicas como: mecánica clásica, electromagnetismo, circuitos, entre otros. El espacio físico, el montaje y materiales necesarios; así como el costo del mantenimiento y capital humano requerido para la ejecución y administración de laboratorios presenciales, hacen que el costo de los cursos experimentales sea considerablemente alto y difícil de sostener, sobre todo para universidades con recursos limitados (Tilman, 2010).

Además de los problemas con los altos costos que implica la experimentación presencial, se ha citado que los estudiantes debido al corto tiempo en el laboratorio y la cantidad de estudiantes en un mismo grupo no llevan a cabo completamente las actividades diseñadas. Adicionalmente para los estudiantes con discapacidades, los laboratorios presenciales no son los más aptos para su aprendizaje como ha sido citado anteriormente (Colwell, Scanlon & Cooper, 2002). En centros de educación a distancia este tipo de laboratorios se siguen realizando con la presencialidad del estudiante, lo que es un obstáculo permanente para estudiantes que no pueden desplazarse a realizar las prácticas de laboratorio que se programan.

Las desventajas de la experimentación presencial y la necesidad de cubrir la enseñanza en experimentación en universidades a distancia (De La Torre *et al.*, 2013), ha llevado a que uno de los principales desafíos en la educación de las ciencias y la ingeniería sea el aprovechamiento de las tecnologías de la información para la experimentación en campos de física e ingeniería (Chen, Song & Zhang, 2010). De esta forma se han introducido dos nuevos tipos de enseñanza

denominados usualmente como laboratorios virtuales o laboratorios remotos. Para tener claras las diferentes modalidades de enseñanza en experimentación, es preciso tener en cuenta dos criterios, como cita Heradio *et al.* (2016):

- De acuerdo con el medio por el cual se accede al ambiente, remoto o local.
- De acuerdo con la naturaleza física del laboratorio, simulado o montaje experimental real.

Combinando estos dos tipos de criterios se encuentran cuatro tipos de experimentación:

1. Laboratorio físico real con acceso local: es el tipo de laboratorios tradicional donde el estudiante está al frente del montaje experimental.
2. Laboratorio simulado con acceso local: el ambiente es simulado no existe un entorno real y se accede localmente.
3. Acceso remoto a montaje físico real (laboratorio remoto): existe un ambiente real, al cual el estudiante accede a través de internet.
4. Acceso remoto ambiente virtual (laboratorio virtual): el ambiente es simulado, y el estudiante accede a través de internet.

Los dos últimos tipos de experimentación: laboratorio remoto y laboratorio virtual, son el objetivo de estudio de este trabajo. Este tipo de enseñanza tiene múltiples ventajas: reducción de costos (Heradio *et al.*, 2016); llegar a estudiantes geográficamente dispersos (Ma & Nickerson, 2006) o ahorro de tiempo en desplazamiento en ciudades grandes con tiempos de

movilización altos; cubrir la necesidad de la enseñanza en experimentación en los centros educativos con modalidad a distancia (De La Torre *et al.*, 2013). Los resultados positivos de efectividad en el aprendizaje, sobre todo a nivel de apropiación de conceptos logrados con estas modalidades de enseñanza han permitido posicionar rápidamente los laboratorios virtuales y remotos como un complemento en la formación en la experimentación. La experimentación remota, particularmente, se considera como uno de los 5 mayores cambios en la educación en la ingeniería en el presente siglo (Marques, Viegas, Costa-Lobo, Fidalgo & Alves, 2014).

En este trabajo, se realiza la revisión bibliográfica de las principales referencias en el ámbito de laboratorios remotos y virtuales en el campo de ciencias e ingeniería, resaltando las ventajas de cada tipo de enseñanza. De igual forma se discuten sus desventajas y los resultados de efectividad presentados por estas modalidades de enseñanza. El trabajo se organiza de la siguiente manera: primero se presenta la metodología usada para la elección de las referencias tenidas en cuenta en esta investigación. Continuamos con la presentación del estado del arte en laboratorios virtuales y remotos, mencionando los principales proyectos y su impacto en el ámbito de la enseñanza. En una sección especial, se presenta el experimento global bajo el proyecto World Pendulum Alliance (Escobar, Fernandes, Allard & Erazo, 2019), en el cual Colombia participa a través de dos universidades: Universidad Nacional Abierta y a Distancia y Universidad de los Andes. Con base en este estudio, finalmente se realiza una discusión acerca de la importancia de cada tipo de

experimentación en el campo de la educación.

2. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación y con el objetivo de ampliar la perspectiva respecto a la implementación de herramientas tecnológicas que permitan la experimentación remota y/o virtual, así como su contraste con los laboratorios físicos en el contexto de la educación universitaria, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura, de acuerdo con una ecuación de búsqueda conformada a partir de la articulación de las palabras clave que se evidencian en la Tabla 1:

Tabla 1
Palabras clave en la revisión sistemática de literatura realizada en esta investigación con los términos de búsqueda

Componente 1	Componente 2
Remote Lab	Physics Education
Virtual Lab	Educational Technology
E-Lab	Review
Educational Remote Experiment	Higher Education
Virtual and Remote Labs	Engineering and scientific education
Sección de búsqueda: Título de artículo	Sección de búsqueda: Título de artículo Resumen Palabras clave

Partiendo de la información anterior, se realizó la búsqueda en Scopus, una de las más amplias bases de datos multidisciplinares que existen en el mundo y que cuenta con más de 22.000 revistas. La búsqueda con los criterios citados anteriormente permitió la identificación de 200 documentos entre artículos, documentos de congresos, capítulos de

libros y notas, que fueron limitados, con el fin de analizar los referentes más consultados y de referencia en el campo. De esta forma se organizaron los documentos por número de citas, eligiendo las primeras 13 referencias que aportan al conocimiento en la experimentación remota y/o virtual en la enseñanza universitaria en ciencia e ingeniería. De estos se clasifican de la siguiente forma de acuerdo con su temática central (ver Tabla 2). Donde se puede evidenciar que se tienen referencias de los dos modos de experimentación.

Tabla 2
Caracterización de las referencias utilizadas en esta investigación

Temática	% Referencias
Laboratorio remotos y virtuales	33%
Laboratorios remotos	25%
Laboratorios virtuales	25%
Laboratorios remotos, virtual y físicos.	9%
Laboratorios físicos y virtuales	8%
Total general	100%

Adicionalmente, se tuvo en cuenta una última referencia, publicada por la colaboración World Pendulum Alliance (Escobar, Fernandes, Allard & Erazo, 2019), de la cual hace parte la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, y es fundamental para los objetivos de este trabajo que son mostrar los principales proyectos a nivel mundial.

3. Laboratorios virtuales

Los laboratorios virtuales consisten en la simulación de un laboratorio real a través de programación. Este tipo de

laboratorios se desarrollan en plataformas de programación basadas en la mayoría de los casos en clases y objetos. La estructura general de un laboratorio virtual se basa en un servidor donde se encuentran el software desarrollado y en un cliente que accede a través de internet.

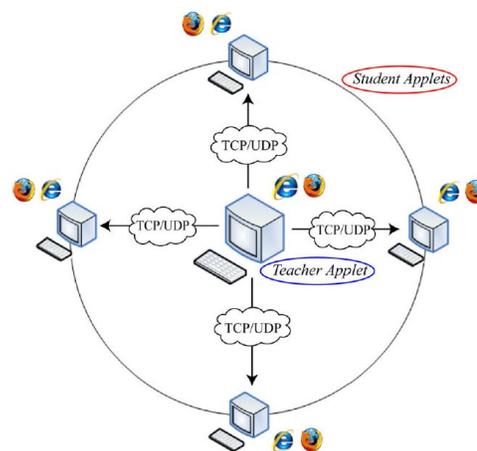


Fig. 1 Esquema de un laboratorio virtual. Figura tomada de Jara *et al.*, (2009).

Uno de los primeros referentes en laboratorios virtuales es la Universidad de Massachusetts, Amherst, con la implementación en 2007 del *proyecto Open Network Laboratory*, para la enseñanza en computación, que al ser evaluado evidenció resultados positivos respecto a la efectividad en el aprendizaje, incentivando a que este tipo de enseñanza ganara mayor relevancia (Tilman, 2010).

El proyecto *Virtual Reality Laboratory Accidents*, desarrollado por la Universidad de Illinois, fue implementado con el objetivo de que los estudiantes pudieran interactuar y manejar parámetros para observar las configuraciones que producían accidentes, este tipo de enseñanza demostró ser más efectiva que hojas de especificaciones, con la ventaja de que evita los accidentes reales (Tilman,

2010). El proyecto *VccSSe (Virtual Community Collaborating Space for Science Education)* fue un proyecto de tres años iniciado en el 2006 y financiado por la Unión Europea, éste fue creado para el campo de la enseñanza en física, química y biología; las temáticas tratadas en física fueron: transporte de calor, circuitos DC y AC incluyendo fenómenos de resonancia.

El proyecto *TEALsim (Technology Enabled Active Learning)*, es un proyecto

con libre acceso desde el MIT. Su principal objetivo fue incrementar la apropiación conceptual y el entendimiento analítico de los fenómenos electromagnéticos (<http://web.mit.edu/viz/soft/visualizations/tealsim>). Esta aplicación se puede correr en Java o Applet y permite a los estudiantes observar las líneas de flujo magnético (Potkonjak *et al.*, 2016).

Tabla 3
Proyectos de laboratorios virtuales referentes en el campo de ciencias e ingeniería

Proyecto	Año	Institución coordinadora	Área	Referencia
<i>Open Network Laboratory</i>	2007	Universidad de Massachusetts Amherst	Computación	(Tilman, 2010)
<i>Virtual Reality Laboratory Accidents</i>	2009	Universidad de Illinois Chicago	Ingeniería	(Chen, Song & Zhang, 2010)
<i>VccSSe</i>	2009	Valahia University of Targoviste, Romania	Termodinámica y Electromagnetismo.	(Potkonjak <i>et al.</i> , 2016).
<i>TEALsim¹</i>	2010	Massachusetts Institute of Technology, USA	Electromagnetismo	(Potkonjak <i>et al.</i> , 2016).

En términos generales, de las experiencias en estos proyectos iniciales en el campo de los laboratorios virtuales, se puede destacar que, en su implementación los diseñadores pueden remover detalles que lleven a la confusión del estudiante (de Jong, Linn & Zacharia, 2013), sin embargo, los estudiantes pueden evidenciar fenómenos que en un laboratorio físico o remoto no son posibles, como; el paso de los electrones por un conductor, o que durante el movimiento de un objeto se puedan observar las magnitudes de las fuerzas.

Otra de las bondades que se evidencian en los laboratorios virtuales para la enseñanza de la ciencia, es la inclusión de gráficas que van mostrando la evolución temporal de las magnitudes físicas tenidas

en cuenta durante la simulación como: velocidad, aceleración, energía cinética, energía potencial, energía térmica, etc. A través de estas gráficas el estudiante relaciona directamente observaciones con las ecuaciones que modelizan los fenómenos

Los estudios de efectividad en el aprendizaje siempre han resaltado que los laboratorios virtuales acentúan el aprendizaje conceptual debido a estas herramientas adicionales. Una de las principales ventajas citada con antelación (Chen, Song & Zhang, 2010), es la posibilidad de simular laboratorios de última tecnología como puede ser: espectrómetro de masas, acelerador de partículas, reactores nucleares; permitiendo a estudiantes en zonas no

desarrolladas interactuar con este tipo de sistemas y sus variables.

Los laboratorios virtuales han avanzado permitiendo simulaciones en 3D y utilizando realidad aumentada, adicionalmente, existen diferentes referentes en el campo de robótica y mundos virtuales como cita Potkonjak *et al.* (2016).

4. Laboratorios remotos

Los laboratorios remotos consisten en un montaje experimental real en un espacio físico definido que utiliza un sistema de software y hardware cercano o local para la toma de datos y vídeo y que usualmente envía la información a un equipo que actúa como servidor y al cual se conectan los estudiantes o usuarios como se puede observar en la Figura 2.

Los laboratorios remotos como acceso a laboratorios reales empezaron a ganar importancia en el contexto de la educación a distancia desde el año 2003, como ha sido citado por Ma & Nickerson (2006) y Cooper & Ferreira (2009). A través de los mismos se permite el acceso a la experimentación, principalmente a estudiantes con inconvenientes para asistir a aulas presenciales (Colwell, Scanlon & Cooper, 2002).

Este tipo de laboratorios permite el acceso a experimentos de última tecnología, evitando riesgos de daños del equipamiento (Cooper & Ferreira, 2009), y así mismo accidentes (Marques, Viegas, Costa-Lobo, Fidalgo & Alves, 2014). La principal ventaja consiste en que el estudiante pueda acceder desde cualquier punto geográfico con acceso a internet, y en comparación a los laboratorios virtuales, se destaca la posibilidad de obtener datos reales.

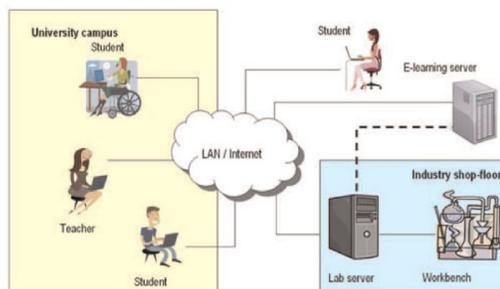


Fig. 2 Configuración típica de un laboratorio remoto. Figura tomada de referencia (Cooper & Ferreira, 2009).

Respecto a su acceso, dependiendo de la configuración, se puede presentar la desventaja de que los estudiantes no puedan interactuar simultáneamente, requiriendo la reserva de espacios o la limitación de tiempo por usuario.

El proyecto PEARL fue un proyecto de tres años en el cual participaron 4 universidades y 2 empresas. Se diseñaron 4 laboratorios que cubrieron un rango de actividades para los estudiantes en diferentes niveles y disciplinas. Tres de los laboratorios fueron en el campo de la física: un experimento para llevar a cabo pruebas para análisis de sustancias con espectrómetro óptico y calorímetro, 2 relacionados con circuitos análogos y digitales; en el campo de la biología, un experimento remoto para análisis de tejidos celulares con un microscopio electrónico. La novedad de este proyecto fue la incorporación de sistemas para que las personas con cierto tipo de discapacidades pudieran acceder a los laboratorios remotos (Colwell, Scanlon, & Cooper, 2002; Cooper & Ferreira, 2009). Este proyecto mostró altos costos en su implementación y por ello, proyectos futuros se concentraron en la realización de experimentos remotos con menores costos (Cooper & Ferreira, 2009).

El proyecto Marvel es un proyecto que involucra laboratorios remotos dentro del

sistema de enseñanza de un curso. Es así que, además del desarrollo e implementación de experimentos remotos, incluye contenido de lecturas para complementar y soportar la experimentación remota por parte de los estudiantes, y así mejorar la efectividad en los cursos que requieren de laboratorios.

Como se destaca en el proyecto iLab del Instituto Tecnológico de Massachusetts, los esfuerzos iniciales de la puesta en marcha de un laboratorio remoto son considerables, ya que debe incluir un equipo interdisciplinario formado por docentes, ingenieros y tecnólogos que trabajan juntos desde la etapa de diseño hasta la implementación (Hardison, DeLong, Bailey & Judson Harward, 2008).

El objetivo del proyecto iLab fue definir una aproximación general para el desarrollo de laboratorios en línea y proveer herramientas para facilitar proyectos futuros (Hardison, DeLong, Bailey & Judson Harward, 2008). Dos experimentos fueron implementados inicialmente, uno para estudiantes de primer año de formación en los cursos de física en el campo de electromagnetismo y el segundo en el campo de física avanzada para el manejo del reactor nuclear de la institución.

Tabla 4
Proyectos de laboratorios remotos referentes en el campo de ciencias e ingeniería

Proyecto	Institución coordinadora/Institución financiadora	Áreas	Año fin	Referencia
VISIR	Blekinge Institute of Technology (BTH),	Ingeniería: circuitos	2009	(Marques, Viegas, Costa-Lobo, Fidalgo & Alves, 2014)
PEARL	Open University/ European Commission	Física, biología,	2003	(Colwell, Scanlon & Cooper, 2002; Cooper & Ferreira, 2009)
MARVEL	Comisión Europea	Ingeniería	2005	(Cooper & Ferreira, 2009)
iLab Project	Massachusetts Institute of Technology	Ingeniería	2008	(Hardison, DeLong, Bailey & Judson Harward, 2008)

5. Proyecto World Pendulum Alliance

World Pendulum Alliance es un proyecto multipropósito de laboratorio remoto cofinanciado por Erasmus+ de la Unión Europea, (Escobar, Fernandes, Allard & Erazo, 2019), centrado en el objetivo de: diseñar, diseminar y evaluar la puesta en operación del montaje de una red experimental físico-mecánica pendular gravitacional que funcione dentro de la red del International Pendulum Project, o

World Pendulum Alliance (liderado por IST - Unión Europea – Erasmus+).

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, miembro de este proyecto, junto con otras universidades latinoamericanas participantes, realizan la instalación e implementación del laboratorio, y promueven el aprovechamiento local del mencionado montaje a nivel nacional e internacional tanto en investigación como en la didáctica para la enseñanza de la física. A partir de este proyecto se busca que los estudiantes

desarrollen sus habilidades de aprendizaje autónomo, a través de experimentación remota, facilitando el aprendizaje de la física en los diferentes niveles de educación, incluyendo la secundaria.

A partir del estudio del péndulo simple los estudiantes comprenden fenómenos físicos y mecánicos presentes en este sistema. Adicionalmente, permite la determinación del periodo viendo el péndulo como un oscilador armónico no amortiguado impulsado por gravedad; y facilita la comprensión del método de Lagrange a partir del balance de energías (Escobar, Fernandes, Allard & Erazo, 2019).

La principal ventaja que presenta este laboratorio remoto, es el acceso en tiempo real a los datos del experimento, teniendo en cuenta las condiciones físicas reales como temperatura, altitud, entre otros; según la ubicación geográfica. De igual forma, contando con una conexión a internet, se brinda la oportunidad de accesibilidad en diferentes partes del mundo incluso en países con recursos limitados y con dificultades para el acceso a laboratorios físicos para la educación en la ciencia y la ingeniería; también facilita a estudiantes y docentes la autonomía de aprendizaje, debido a que la data se encuentra disponible en tiempo real.

6. Discusión

Los laboratorios virtuales y remotos proveen un medio para la enseñanza en la experimentación con una reducción significativa de los costos para las instituciones educativas y la ventaja de enriquecer la experiencia de los estudiantes (Ma & Nickerson, 2006; Heradio *et al.*, 2016).

Los laboratorios virtuales y remotos permiten que el estudiante se centre en los problemas relevantes del tema estudiado (Marques, Viegas, Costa-Lobo, Fidalgo & Alves, 2014). En el laboratorio remoto, por ejemplo, el estudiante no se debe preocupar por el montaje, ni en los materiales a utilizar; además el estudiante tiene a su completa disposición el laboratorio, en vez de compartirlo con un grupo, lo que permite tener mayor tiempo efectivo observando los fenómenos (Marques, Viegas, Costa-Lobo, Fidalgo & Alves, 2014).

Desde el inicio de la implementación de los laboratorios remotos y virtuales se ha evaluado si realmente este tipo de enseñanza ofrece un valor pedagógico relevante (Cooper & Ferreira, 2009); se ha presentado debate del valor de la experimentación remota y virtual versus la experimentación presencial (Ma & Nickerson, 2006). Los estudios de la evaluación de la efectividad en cada tipo de experimentación remota o virtual no han sido sistemáticos y muchas veces han sido orientados a evaluar objetivos de aprendizaje orientados a cada tipo de modalidad. No se ha logrado tener un marco común de objetivos a evaluar, lo que hace que muchos resultados sean parcializados como ha sido referenciado (Ma & Nickerson, 2006). Muchos estudios de efectividad se han realizado sin un pre-test y por lo tanto no se tienen un punto de comparación. No se ha evaluado o demostrado que la población inicial es equivalente en cuanto a niveles de conocimientos iniciales lo que es esencial para evaluar la efectividad del tipo de enseñanza recibido.

La mayoría de los estudios muestran que la experimentación remota y virtual permite mejores resultados en cuanto a la apropiación de conceptos por parte del

estudiante, que la que se obtiene en laboratorios presenciales. Sin embargo, los resultados en cuanto al aprendizaje en planeación no son positivos, ya que los laboratorios presenciales permiten una experimentación real; el estudiante debe resolver los problemas que usualmente se presentan (Ma & Nickerson, 2006) lo que permite que esté preparado para la planeación de un nuevo experimento.

Aunque el aprendizaje autónomo es favorable en los dos tipos de experimentación: remota y virtual; se debe resaltar que el éxito de la utilización de estas modalidades está en el proceso de implementación. Un factor importante para que los cursos de experimentación remota y virtual sean efectivos es la inclusión de plataformas de gestión del aprendizaje como Moodle (www.moodle.org) que permitan una interacción sincrónica y asincrónica, formación de grupos colaborativos, y un seguimiento del aprendizaje del estudiante por el docente (Jara *et al.*, 2009), con el objetivo que todo el potencial e inversión no sean en vano (Cooper & Ferreira, 2009). En este sentido, en la implementación se deben definir objetivos concretos para cada módulo buscando obtener mejores resultados de aprendizaje de los estudiantes. Si no se realiza de forma eficiente la ejecución de los cursos, el estudiante perderá el interés, ya que el uso será más difícil sobre todo en el caso de laboratorios remotos, y por lo tanto el aprendizaje puede verse afectado (Marques, Viegas, Costa-Lobo, Fidalgo & Alves, 2014).

Una de las desventajas de los laboratorios remotos, es que para cada laboratorio físico solamente puede acceder un usuario, lo que limita el número de estudiantes que pueden acceder a diario. Sin embargo, hay proyectos como el de

World Pendulum, que no tendrá este inconveniente. El éxito de este proyecto en cuanto al aprendizaje dependerá de su implementación dentro de los cursos de enseñanza de educación superior y de la didáctica que propongan los docentes para garantizar su uso.

Conclusiones

Los laboratorios remotos y virtuales ofrecen un complemento a la formación experimental en áreas de ciencias e ingeniería. Las principales ventajas que ofrecen en cuanto a logística son: reducción de costos a las universidades y ahorro de tiempo en desplazamientos a los estudiantes. En cuanto al aprendizaje, los estudiantes tienen la posibilidad de ver fenómenos con mayor claridad, lo que conduce a un nivel alto de apropiación de los conceptos.

El aprendizaje en experimentación a través de la modalidad remota y virtual, es efectivo si se acompaña de una plataforma adecuada, con un tutor o docente que esté realizando un seguimiento en el proceso de formación; esto evita que el estudiante pierda el interés y se consigan mejores resultados en el aprendizaje.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que estos tipos de experimentación son un complemento en la formación, ya que la experiencia en laboratorios presenciales es esencial para desarrollar en los estudiantes habilidades prácticas que no pueden ser obtenidas en los laboratorios virtuales y remotos.

Reconocimientos

Los autores agradecen el apoyo al proyecto World Pendulum Alliance, cofinanciado por Erasmus+ de la Unión Europea, liderado por el IST (Portugal), y, adicionalmente a la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Referencias

- Abello Mendoza, E. N., & Bernal Suarez, W. F. (2017). Prototipo para la orientación automática de paneles solares. *Publicaciones e Investigación*, 11(1), 103 - 111. <https://doi.org/10.22490/25394088.2254>
- Amarillo Rojas, M. O., & Trujillo Arboleda, L. C. (2015). Simulación de redes de sensores inalámbricos: un modelo energético a nivel de nodo-sensor bajo las especificaciones Ieee 802.15.4tm y Zigbee. *Publicaciones e Investigación*, 9, 13 - 24. <https://doi.org/10.22490/25394088.1430>
- Barbosa Reina, C., Ramírez Jiménez, L. N. & Morales Pedraza, N. (2014). Obtención de biodiesel (etil-éster) mediante catálisis básica a nivel planta piloto derivado de aceites usados de la industria alimenticia. *Publicaciones e Investigación*, 8, 99 - 116. <https://doi.org/10.22490/25394088.1293>
- Bohórquez Niño, A. (2018). Microturbina Pelton, una solución real de energía para zonas no interconectadas (ZNI). *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(31), http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/2768
- Budai, T. & Kuczmann, M. (2018). Development of a VR capable virtual laboratory framework. *AKJournals*, 13(3), 83-93. <https://doi.org/10.1556/606.2018.13.3.9>
- Candelario Samper, J. J., & Rodríguez Bolaño, M. (2015). Seguridad informática en el siglo XX: una perspectiva jurídica tecnológica enfocada hacia las organizaciones nacionales y mundiales. *Publicaciones e Investigación*, 9, 153 - 162. <https://doi.org/10.22490/25394088.1441>
- Castellón-Arenas, A. & Vergara-de la Ossa, R. (2019). Diseño e implementación de un software contable que apoye la gestión en las tiendas de barrio, de Cartagena de Indias. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 10(1), 8-14. <http://revistas.unitecnar.edu.co/index.php/sth/article/view/1>
- Chen, X., Song, G., & Zhang, Y. (2010). Virtual and Remote Laboratory Development: A Review. *Proceedings of the 12th International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments - Earth and Space 2010*, (pp 3843-3852). Honolulu, HI; United States. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41096%28366%29368>
- Colwell, C., Scanlon, E. & Cooper, M. (2002). Using remote laboratories to extend access to science and engineering. *Computers and Education*, 38(1-3), 65-76. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013150100077X>
- Cooper, M. & Ferreira, J. (2009). Remote Laboratories Extending Access to Science and Engineering Curricular. *IEEE Transactions on learning technologies*, 2(4), 342-353.

- <https://ieeexplore.ieee.org/document/5291687>
- de Jong, T., Linn, M. & Zacharia, Z. (2013). Physical and virtual laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://science.sciencemag.org/content/340/6130/305>
- De La Torre, L., Heradio, R., Jara, C. A., Sánchez, J., Dormido, S., Torres, F. & Candelas, F. A. (2013). Providing Collaborative Support to Virtual and Remote Laboratories. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 6(4), 312-323. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6523034>
- Escobar, M., Fernandes, H., Allard, O., & Erazo, Y. (s.f.). Pendulum as an Educational Remote Experiment. *2019 5th Experiment@ International Conference (exp.at'19)*, (pp. 388-393). Madeira, Portugal. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8876473>
- García-León, R. A., Flórez Solano, E., Acevedo Peñaloza, C. A. (2018). Caracterización térmica de mezclas de arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(31), http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/2760
- García Sandoval, M. G., Ariza Torrado, H. D., Pinzón, M. L., & Flórez Fuentes, A. S. (2016). Buenas prácticas aplicadas a la implementación colaborativa de aplicativos web. *Mundo FESC*, 5(10), 27-30. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/67>
- Giraldo Plaza, J. E., Ruiz Núñez, M. A., Rosero Noguera, C. A. & Zapata L. (2017). Formación en competencias específicas para la industria del software colombiano. Experiencias del uso del aprendizaje basado en proyectos. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(27), http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/2529
- Gómez Orozco, L. & Capera Urrego, A. I. (2016). Modelos de ensuciamiento en intercambiadores de calor tubulares en sistemas indirectos en procesos uHt en la industria láctea. *Publicaciones e Investigación*, 10, 95-114. <https://doi.org/10.22490/25394088.1590>
- Guerra-Ocampo, D., Castillo, J., & Ceballos, Y. (2019). Caracterización de datos catastrales para la tipificación de asentamientos informales en Medellín. *Revista UIS Ingenierías*, 18(1), 187-201. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/8328>
- Hardison, J., DeLong, K., Bailey, P., & Judson Harward, V. (2008). Deploying Interactive Remote Labs Using the iLab Shared Architecture. *Proceedings - Frontiers in Education Conference*, (pp. S2A1-S2A2). NY. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4720536>
- Heradio, R., de la Torre, L., Galan, D., Cabrerizo, F., Herrera-Viedma, E. & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers & Education*, 98, 14-38. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131516300677>
- Hernández Tolosa C., Contreras Eugenio, B., Torres Sánchez C. R. (2016). Desarrollo de libros electrónicos: “taller

- pedagógico". *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(27), http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/2548
- Jara, C., Candelas, F., Torres, F., Dormido, S., Esquembre, F. & Reinoso, O. (2009). Real-time collaboration of virtual laboratories through the Internet. *Computers & Education*, 52, 126-140. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013150800105X>
- Leguizamón Sierra, G. I. & Yepes González, N. V. (2014). Estudio descriptivo mediante análisis multicriterio de la cadena agroalimentaria de la panela. *Publicaciones e Investigación*, 8, 161 - 183. <https://doi.org/10.22490/25394088.1298>
- López Jiménez, V. L. (2014). Propuesta metodológica para el rediseño de una red meteorológica en un sector de la región andina colombiana. *Publicaciones e Investigación*, 8(1), 55 - 76. <https://doi.org/10.22490/25394088.1281>
- Ma, J. & Nickerson, J. (2006). Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1132960.1132961>
- Márquez, L., Abdo, Y. & Angulo, F. (2015). Prototipo de control de acceso a aulas y registro automático de asistencia. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(26), http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/05_v25_30/revista_26/01052016/06.pdf
- Marques, M., Viegas, M., Costa-Lobo, M., V. Fidalgo, A. & R. Alves, G. (2014). How Remote Labs Impact on Course Outcomes: Various Practices Using VISIR. *IEEE Transactions on Education*, 57(3), 151-159. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6645452>
- Martínez, J., & Pino, F. J. (2016). Definición de un modelo de calidad de servicios soportado por tecnologías de la información (TI). *Publicaciones e Investigación*, 10, 49-67. <https://doi.org/10.22490/25394088.1587>
- Mendoza Bejarano, J. L. & Villamizar Carrillo, L. P. (2014). Metodologías de usabilidad aplicadas a entornos virtuales de aprendizaje: caso Universidad de Pamplona. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(1), http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/2313
- Molina, L. D., & Lozano, L. P. (2016). La desertificación del suelo, aspectos y estrategias de lucha. *Publicaciones e Investigación*, 10, 117-127. <https://doi.org/10.22490/25394088.1591>
- Montañez Carrillo, L., & Lis Gutiérrez, J. P. (2016). Medición de la madurez de la gestión del conocimiento en la Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería de la UNAD. *Publicaciones e Investigación*, 10, 177-191. <https://doi.org/10.22490/25394088.1595>
- Moreno-García, F., Ramírez-Matheus, J. J., Ortiz-Ramírez, O. D. (2016). Sistema de supervisión y control para un banco experimental de refrigeración por compresión. *Respuestas*, 21(1), <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/641>
- Mosquera Laverde, W. E. & Vásquez Bernal, O. A. (2015). Herramientas de gestión ambiental para las carreteras de cuarta generación (4g) en Colombia. *Publicaciones e Investigación*, 9, 87-98.

- <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1436>
- Niño-Blanco, J. A., Hernández-Suárez, C. A., & Bonilla-González, M. Y. (2019). Práctica pedagógica, dominio afectivo y procesos matemáticos de los docentes de matemáticas en el nivel de educación básica del sector público. *Ecomatematico*, 10(1), 19-27. <https://doi.org/10.22463/17948231.2538>
- Ortega Toro, R. & Hoyos Concha, J. L. (2016). Residuos piscícolas a ensilaje biológico: evaluación fisicoquímica. *Publicaciones e Investigación*, 10, 13-20. <https://doi.org/10.22490/25394088.1584>
- Pantoja, L. & Pardo, C. (2016). Evaluando la facilidad de aprendizaje de frameworks mvc en el desarrollo de aplicaciones web. *Publicaciones e Investigación*, 10, 129-142. <https://doi.org/10.22490/25394088.1592>
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrovic, V. & Jovanovic, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309-327. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131516300227>
- Quintana Fuentes, L. F., Gelvez Pinilla, M. & Mendoza, L. J. (2014). Estandarización de la fase de fermentación “fase I” en la obtención de un licor de mandarina utilizando levadura “*Saccharomyces Cerevisiae*”. *Publicaciones e Investigación*, 8, 139 - 149. <https://doi.org/10.22490/25394088.1296>
- Rojas Garzón, L. J., & López Jiménez, V. L. (2017). Vulnerabilidad hídrica de la cuenca del río Blanco, en el municipio de La Calera, considerando los escenarios de cambio climático propuestos por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. *Publicaciones e Investigación*, 11(1), 77 - 88. <https://doi.org/10.22490/25394088.2258>
- Sánchez Bautista, E. A., Villarreal Roa, J. R. & Torres Ortega, J. A. (2015). Estimación de la huella hídrica para un cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Publicaciones e Investigación*, 9, 135 - 146. <https://doi.org/10.22490/25394088.1439>
- Tilman, W. (2010). Assessing Student Learning in a Virtual Laboratory Environment. *IEEE Transactions on Education*, 53(2), 216-222. <http://www.ecs.umass.edu/ece/wolf/pubs/te2010.pdf>
- Torres Ortega, J. A., Contento Rubio, O. F., & Herrera Orozco, I. (2017). Análisis de ciclo de vida para una biorefinería derivada de residuos agrícolas de palma aceitera (*Elaeis guineensis*). *Publicaciones e Investigación*, 11(1), 13 - 36. <https://doi.org/10.22490/25394088.2251>