

Laboratorios remotos en educación superior: Una revisión bibliográfica sistematizada

Remote laboratories in high school education: A systematized bibliographic review

Ángel Villalobos M.¹, Rosa Romero A.¹

¹ Instituto Profesional IACC, Santiago, Chile

angel.villalobos@iacc.cl, rosa.romero@iacc.cl

Recibido: 04/04/2022 | Corregido: 20/04/2023 | Aceptado: 08/05/2023

Cita sugerida: Á. Villalobos M., R. Romero A., "Laboratorios remotos en educación superior: Una revisión bibliográfica sistematizada," *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, no. 35, pp. 58-68, 2023. doi:10.24215/18509959.35.e7

Esta obra se distribuye bajo **Licencia Creative Commons CC-BY-NC 4.0**

Resumen

El uso de laboratorios teleoperados es una realidad en varias instituciones de educación superior. Son una alternativa frente a la imposibilidad física de asistir presencialmente y se ha extendido su uso en los últimos años. Existen pocos trabajos (dos) de reseñas que sistematizan las investigaciones al respecto, éstas abarcan un período temporal reducido. Se desarrolla un estudio del tipo revisión bibliográfica sistematizada [1], con la finalidad de estudiar las tendencias en el uso de laboratorios remotos para el aprendizaje en educación superior. Se logra analizar 53 trabajos encontrados en las bases de datos WOS y ERIC, publicados entre los años 2011 y 2021. Abarca trabajos de distintas localizaciones geográficas, en 6 continentes, los cuales corresponden en su mayoría a artículos publicados en revistas científicas y a ponencias en congresos, el principal enfoque metodológico de los estudios es de tipo cuantitativo. Los principales temas abordados en el corpus analizado corresponden en primer lugar a la creación de laboratorios remotos y en un segundo lugar su aporte en los procesos de enseñanza, a partir de experiencias en distintas disciplinas. Se demuestra que presentan una serie de ventajas frente a sus homólogos físicos y su aporte en el enriquecimiento del aprendizaje técnico y científico.

Palabras clave: Laboratorio remoto; Educación ingenieros; Experimento real; Actuadores; Laboratorio educativo; Educación en línea; Tecnología educativa.

Abstract

The use of teleoperated laboratories is a reality in several higher education institutions. They are an alternative to the physical impossibility of attending in person and their use has spread in recent years. There are few works (two) of reviews that systematize the investigations in this regard, these cover a short period of time. A study of the type systematic bibliographic review [1] is developed, with the purpose of studying the tendencies in the use of remote laboratories for learning in higher education. It is possible to analyse 53 works found in the WOS and ERIC databases, published between 2011 and 2021. It covers works from different geographical locations on 6 continents, most of which correspond to articles published in scientific journals and presentations at congresses, the main methodological approach of the studies is quantitative. The main topics addressed in the analysed corpus correspond firstly to the creation of remote laboratories and secondly their contribution to the teaching processes based on experiences in different disciplines. It is shown that they have a series of advantages over their physical counterparts and their contribution to the enrichment of technical and scientific learning.

Keywords: Remote laboratory; Engineering education; Real experiment; Actuators; Educational laboratory; Online education; Educational technology.

1. Introducción

En los últimos años, el aprendizaje mediado por la web ha avanzado a grandes pasos como resultado del rápido desarrollo de Internet y las tecnologías de la información y la comunicación; adicionalmente, es importante destacar que en el campo de la educación en ingeniería un cambio sustancial hacia el aprendizaje mediado por la web ha sido el uso de laboratorios remotos en la educación [2]. Una gran cantidad de las implementaciones de laboratorios mediados por Internet se centran en las facilidades de interacción disponibles para la manipulación de los experimentos asociados a laboratorios a través de la red [3].

Por otro lado, se hace imperativo mencionar que con la integración de las tecnologías de las telecomunicaciones y de la informática, con la adquisición de datos y control remoto, se pueden desarrollar laboratorios reales y remotos, accediendo a ellos a través de Internet en tiempo real, lo que garantiza una experiencia colaborativa más rica para el estudiante y minimiza algunas de las crecientes limitaciones de los laboratorios tradicionales, como la falta de área de trabajo suficiente, experimentos costosos, falta de personal de soporte, inconvenientes de tiempo asignado a un laboratorio y su disponibilidad en horas no laborables [4].

Los laboratorios de experimentación proporcionan una parte esencial de la experiencia de aprendizaje para los estudiantes de ingeniería y ciencias en las instituciones de educación superior. Tradicionalmente estas disponen de laboratorios físicos, los cuales consisten en una sala con implementación científica y/o tecnológica, que cuenta con un horario fijo de uso y un tiempo específico para la realización de sesiones prácticas. Uso que se ha visto interrumpido por el confinamiento entre 2020 y 2022, debido a la pandemia Covid-19. Una alternativa a ellos son los laboratorios remotos (LR), que pueden ser definidos como laboratorios físicos que permiten el acceso a experimentos reales a usuarios que no estarían en la misma ubicación física que el experimento. En éstos el alumno o usuario remoto accede al experimento como una presencia virtual a través de una interfaz de usuario [5]. En esta modalidad, un experimento puede realizarse de forma continua (24 horas al día, 7 días a la semana) y permitir que uno o más usuarios accedan a un mismo experimento. Así cualquier estudiante, desde cualquier lugar, puede continuar su formación científica a través del uso de un LR. Las características de su interfaz permitirían, además, su uso a estudiantes con movilidad reducida, dificultades de audición y otras discapacidades, que suelen manifestar dificultades de acceso y uso en laboratorios físicos tradicionales.

Diversas investigaciones concuerdan en la viabilidad operativa y tecnológica de los laboratorios teleoperados, describiéndolos como una excelente estrategia capaz de potenciar las actividades educativas en un ambiente de aprendizaje a distancia [4] y [6]. Mientras que Susinos-Rada et al. [7], muestran varias opciones disponibles más ampliamente utilizadas dentro del ámbito de laboratorios de

ingeniería de control, pero que pueden ser extendidas a otras áreas del conocimiento.

En la actualidad se cuenta con una alta disponibilidad de herramientas de desarrollo de laboratorios remotos o teleoperados, lo que ha motivado a universidades e instituciones educativas a proponer, diseñar, construir y operar esta herramienta de enseñanza-aprendizaje a distancia. [8], muestran un conjunto de ejemplos relacionados con el uso formativo de este tipo de laboratorio en cuatro universidades europeas, concluyendo que existen marcadas diferencias en las estrategias educativas utilizadas y la inexistencia de guías procedimentales que acompañen a los estudiantes en su interacción con el laboratorio remoto. A su vez, Rodríguez Zamora & Espinoza Núñez [9] establecen que el diseño de laboratorios remotos debe contemplar modelos pedagógicos y didácticos que incrementen la motivación del estudiante para el logro de los aprendizajes esperados.

Diversos estudios han buscado comparar los aprendizajes y utilidad de laboratorios presenciales versus laboratorios remotos, [10], [11], [12], han comprobado que los laboratorios remotos cumplen con los aprendizajes en igual forma y emulan las funciones de los laboratorios físicos, manteniendo la motivación de los estudiantes.

Tabla 1. Comparación laboratorio tradicional y laboratorio remoto, según Faulconer & Gruss, 2018 [9]

<i>Ventajas</i>	<i>Lab. tradicional</i>	<i>LR</i>
Resultados tangibles con retroalimentación sensorial	☑	☑
Bajos costos de operación y mantenimiento		☑
Costos estudiantiles	(variable)	☑
Potencial de crecimiento y tamaños de clase		☑
Replicación	☑	☑
Disponibilidad 24/7		☑
Múltiples oportunidades de acceso		☑
Tiempo de acceso extendido		☑
Acceso a la discapacidad	☑	(variable)
Contacto estudiante-instructor	☑	☑
Seguridad		☑

La utilidad de los LR ha sido aceptada por instituciones de reconocido prestigio educativo como la Agencia de Garantía de Calidad del Reino Unido (QAA); en su manual para la práctica y la evaluación basada en laboratorios (QAA, 2020), reconoce que el desarrollo de la habilidad psicomotora y las competencias prácticas en el uso y manipulación de equipos se puede lograr adecuadamente de forma remota [13]. Incluso se ha considerado en la

construcción de estándares que permitan su inscripción y reconocimiento a partir de normas internacionales, es el caso de la Norma IEEE P1876M sobre Objetos de Aprendizaje Inteligentes en Red para Laboratorios en Línea [14].

Se prevé que, con el aumento progresivo de la formación en línea, especialmente los MOOC (cursos en línea masivos), los LR serán adoptados ampliamente en ingeniería y educación científica [11]. Además, como uno de los grandes aprendizajes de la pandemia, las prácticas en educación superior modificarán sus métodos de enseñanza aprovechando los beneficios de escenarios digitales o remotos, como es el uso de LR [13].

Como es de esperarse, la directa interacción con equipos de laboratorio aporta una experiencia que no es fácil de igualar debido a que, además de las variables medidas, los estudiantes descubren los experimentos a través de los cinco sentidos (lo ve, lo oye, lo olfatea, lo toca e incluso, a veces, lo degusta). Esto resulta de alta significancia didáctica en el desempeño del estudiante, pues se asocia de forma directa y real a la manipulación de los equipos, la configuración particular de los experimentos y la manera en la que se mide la variable de interés. Sin embargo, por otro lado, frecuentemente los laboratorios de experimentación permanecen infrautilizados debido al limitado horario de acceso, a la ausencia de personal encargado o la falta de mantenimiento de los equipos.

Dada esta situación, el acceso remoto a un equipo de experimentación real puede constituir una interesante opción cuando es posible paliar la falta de contacto directo con dicho equipamiento a través de elementos tecnológicos tales como dispositivos de adquisición de datos, cámaras web y micrófonos, entre otros, y en general aquellos recursos que permitan transmitir la información del ambiente de trabajo a través de Internet y manejarla de forma remota.

En ambos casos se plantea tanto el diseño de los experimentos como la forma en la que se debe configurar el equipamiento utilizado, a fin de lograr la realización exitosa del experimento, pero en el caso de los laboratorios remotos se precisa la construcción de una infraestructura de acceso remoto capaz de realizar la integración de la información obtenida a partir de cámaras, micrófonos y elementos sensores y entregarla a los estudiantes dentro de una plataforma amigable, capaz de proporcionar parámetros adecuados de calidad de servicio.

Frente a la necesidad de conocer las tendencias de investigación relacionadas con el diseño, desarrollo y puesta en práctica de laboratorios físicos operados a distancia, como parte del proceso formativo que plantean algunas instituciones educativas a nivel mundial, hemos diseñado este estudio. Asimismo, la información recabada permitirá detectar las estrategias comunes más exitosas utilizadas en la implementación de este tipo de laboratorios en la educación superior.

2. Metodología

Esta investigación corresponde a una Revisión Bibliográfica Sistematizada, concepto inicialmente acuñado en el ámbito de las Ciencias Médicas para estudios que permitieran encontrar soluciones o tendencias en la solución de casos clínicos [15].

Las revisiones sistemáticas corresponden a investigaciones científicas en las cuales la unidad de análisis son los estudios originales primarios, donde tales estudios constituyen una herramienta esencial para sintetizar la información científica de la que se dispone, incrementando de esta manera la validez de las conclusiones de estudios individuales e identificando áreas de incertidumbre donde sea necesario realizar nuevas investigaciones [16].

Para la revisión sistemática de la literatura este estudio se centra en las experiencias documentadas en la creación de experimentaciones basadas en laboratorios remotos y que se encuentran asociados a programas formativos de instituciones educativas de educación superior.

Se ha trabajado en la búsqueda de artículos publicados en las Bases de Datos Web of Science (WOS) y Eric. En base a los términos específicos en inglés: "Teleoperated Laboratory" y "Remote Laboratory". Lo que permitió rastrear 84 resultados que cumplieran con este criterio (25 pertenecientes a ERIC y 59 a WOS).

Las publicaciones encontradas fueron evaluadas en cuanto a si cumplieran con los criterios de inclusión definidos:

- Centrados en la creación o estudio de laboratorios físicos remotos
- Aplicados para enseñanza en educación superior,
- Correspondientes a un margen de antigüedad temporal no superior a 10 años.

Descartando las investigaciones que no cumplieran con estos criterios y algunos artículos duplicados en ambas bases de datos, resultaron apropiados un total de 53 publicaciones para su análisis en profundidad. En la figura 1 es posible apreciar el proceso de investigación en sus distintas fases.

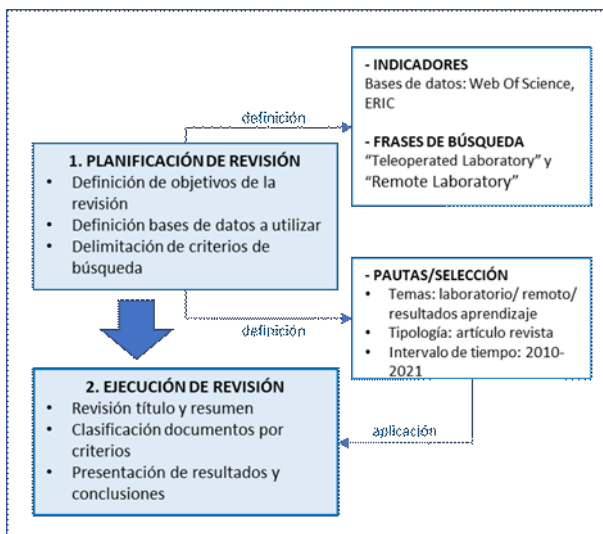


Figura 1. Estructura de revisión de literature

En cuanto a la distribución general, tal como puede observarse de la figura 2, de las 53 publicaciones finales analizadas, un total de 38 fueron encontrada en WOS y 15 en ERIC. La mayoría se publicó en los años 2017 y 2019.

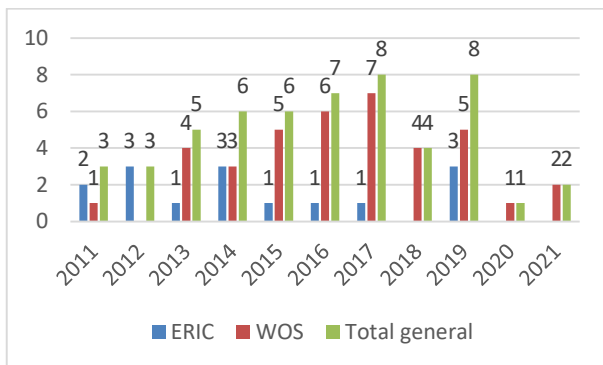


Figura 2. Bases de datos y años de publicación

3. Resultados

Al analizar los documentos seleccionados con los criterios antes descritos se destaca el hecho de que, de los 53 artículos revisados y contrastados, 25 de ellos (46,3%) se asocian de forma específica a la creación de laboratorios remotos, con variadas consideraciones y con una gran diversidad de experimentos asociados, otros 22 artículos (40,7%) se asocian a estudios sobre la influencia de los laboratorios remotos sobre el desarrollo de capacidades declaradas, mientras los restantes 7 (13,0%) se asocian a características varias. En cuanto a la distribución geográfica, como se aprecia en la figura 3, 28 artículos fueron publicados en Europa, 12 en América, 7 en Asia, 3 en África y otros 3 en Oceanía, de lo cual se infiere que es Europa el continente que más producción intelectual ha tenido en los últimos 12 años, en relación con el diseño, fabricación y puesta en marcha de laboratorios remotos asociados a la enseñanza superior, en función de las bases de datos consultadas (ERIC y WOS).

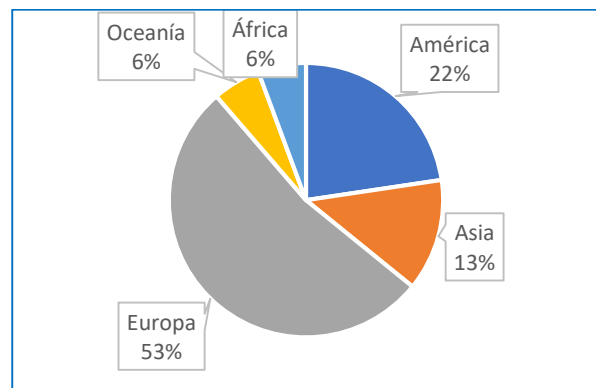


Figura 3. Ubicación geográfica de los artículos seleccionados

Los artículos considerados manifiestan similitudes importantes de mencionar. De las 53 publicaciones analizadas, 25 de ellas tratan lo relativo a la creación de laboratorios remotos con diferentes consideraciones que se especificarán más adelante, 2 consideran el planteamiento de un laboratorio remoto operado por estudiantes desde teléfonos celulares, 22 abordan estudios sobre la influencia de los laboratorios remotos sobre el desarrollo de capacidades declaradas, 2 plantean interfases web para creación de un laboratorio remoto y finalmente 2 de ellas consideran la concentración de publicaciones relacionadas. La figura 4 muestra la relación porcentual de cada criterio considerado.

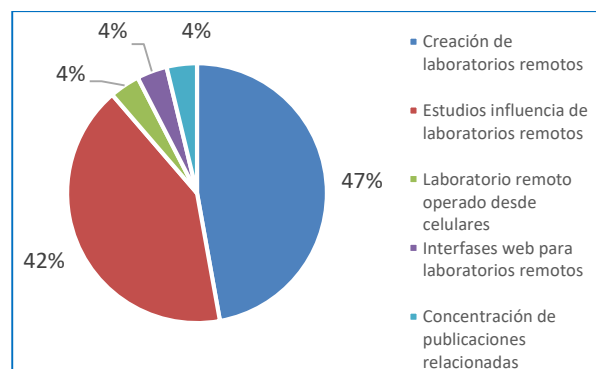


Figura 4. Relación porcentual de Categorías Temáticas

3.1. Artículos relacionados con la creación de laboratorios remotos

A nivel temático, las investigaciones analizadas pueden ser clasificadas en: *Procedimiento de creación de laboratorios remotos; creación de laboratorios remotos, enfatizando el uso de encuestas asociadas a estudiantes; y creación de laboratorios remotos, enfatizando la estructura de la actividad práctica.* Para comprender mejor las características de esta clasificación a continuación explicaremos, a través de casos, el contenido de dichos estudios.

3.1.1. Procedimiento de creación de laboratorios remotos

Para el caso del grupo denominado *procedimiento de creación de laboratorios remotos*, se tienen un total de 13

investigaciones, siendo el grupo más numeroso, entre las cuales se destaca que la mayoría de estas plantean la idea de la implementación de un laboratorio experimental de acceso remoto, puntualizando sobre la implementación de plataformas acordes con las necesidades de cada tipo de experimento tratado.

Resulta interesante que varios estudios [17], [18], [19], [20], [21] presentan experiencias donde se han utilizado plataformas de trabajo que contemplan el uso de robots móviles o dispositivos robóticos, que permiten a los estudiantes implementar, probar y validar códigos para el control del movimiento del dispositivo.

Así mismo, algunas de estas abordan ideas derivadas de la implementación, tales como la creación de una red de laboratorios teleoperados para la modernización de la educación superior en las ciencias tecnológicas y el uso de plataformas genéricas existentes para el desarrollo de laboratorios remotos.

El desarrollo de los referidos laboratorios implica diferentes planes de acción, los cuales son abordados en su mayoría por los artículos consultados. Como primer elemento y foco central se tiene el abordaje de la forma en la que se puede adecuar un experimento físico real para su uso en un entorno educativo remoto, lo cual se logra mayoritariamente a través de la incorporación de un conjunto particular de sensores capaces de medir las variables físicas de interés y elemento actuadores, donde estos últimos posibilitan el encendido, apagado y manipulación final de las partes del experimento que así lo requieren.

Por otro lado, todos los artículos hacen referencia al uso de una cámara de video, capaz de proporcionar a los estudiantes una observación visual del área de experimentación. Para ello se requiere de dispositivos electrónicos asociados y particularmente configurados, en función de lo exigido por cada tipo de experimento utilizado. Lo que ha sido valorado en los resultados de las investigaciones de Tahar et al. [22] indicando que el experimento manejado en línea proporcionó una imitación muy cercana al experimento clásico, de tal manera que ambos experimentos tuvieron similares objetivos y ejecución, permitiendo el experimento remoto la ventaja de que el usuario está en capacidad de seguir en vivo todo el procedimiento que sucede en el laboratorio.

Un segundo elemento que considerar lo constituye la selección de la plataforma digital sobre la cual se hacen estos desarrollos, relacionados con la creación del aula virtual, además del tipo y forma de conexión. Al respecto, es de mencionar que en esta dirección se plantean desde plataformas de uso genérico hasta el desarrollo de plataformas propias y diseñadas específicamente para este tipo de aplicación.

Una propuesta inicial, desarrollada ya hace una década por Guimarães et al. [3] explica los temas de seguridad, calidad del servicio y operación en el diseño y la implementación de WebLab, sus aportaciones al campo de los laboratorios remotos son:

- Establecer una propuesta de modelo de referencia con el cual poder diseñar y comparar los laboratorios remotos,
- Poner de relieve temas rara vez encontrados en la literatura del laboratorio remoto,
- Aportar propuestas de soluciones técnicas,
- Identificar servicios independientes del dominio, a fin de construir plataformas de software para dar soporte a laboratorios remotos seguros.

En un tercer lugar, se debe considerar un sistema digital de intermediación para la reserva de horas por parte de los estudiantes el cual gestiona la fecha y hora en la cual el laboratorio puede estar disponible para su uso, estableciendo la conexión al momento de iniciar el proceso de la práctica y desconectando al usuario una vez que su tiempo de uso ha finalizado. En algunos casos se menciona el uso de sistemas de reservas de hora ya desarrollado, los cuales simplemente se adecúan a estas necesidades.

Por su parte, varias investigaciones [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29] exponen conclusiones respecto al uso de entornos de laboratorios remotos para una gran variedad de experimentos, que consideran procedimientos basados en web, sencillos o muy elaborados, poniendo de relieve que la implementación de estos no está condicionada por la complejidad inherente del experimento tratado, lo que abre un espacio de desarrollo en diversas disciplinas y para distintos niveles educativos.

3.1.2. Creación de laboratorios remotos, enfatizando el uso de encuestas asociadas a estudiantes

Para el caso del grupo denominado *creación de laboratorios remotos, enfatizando el uso de encuestas asociadas a estudiantes*, en general se enfatiza sobre la importancia de la experiencia del usuario al momento de su implementación y la colaboración del estudiante durante el proceso de desarrollo del procedimiento a seguir durante la realización de una práctica particular.

Es de notar que estos artículos consideran el planteamiento de los aprendizajes esperados como parte de la investigación realizada, sirviendo ello como punto central al momento de realizar encuestas de satisfacción. Por otro lado, dichas encuestas consideran ítems relacionados con la satisfacción del usuario al utilizar esta forma de acceder a los experimentos, como también el logro o no de los aprendizajes declarados que se asocian a la ejecución de las prácticas planteadas en el marco de los laboratorios teleoperados considerados.

Adicionalmente, algunos de los artículos consideran el abordaje de los docentes asociados a la ejecución de las prácticas, a fin de conocer de forma complementaria la satisfacción del uso de los laboratorios remotos en la enseñanza de habilidades procedimentales, así como la certificación del aprendizaje esperado logrado por los estudiantes, contrastando en algunos casos los resultados

del uso de laboratorios presenciales respecto a sus versiones remotas.

Un caso representativo lo constituye el trabajo desarrollado por Cheng & Chan [30], en el que los autores dan cuenta de una encuesta realizada para comprobar que los estudiantes mostraron haber realizado una mejor gestión del tiempo, un desarrollo de mayores aprendizajes y una mayor comprensión del procedimiento de laboratorio, en comparación con una clase de laboratorio convencional. En esta línea, otro estudio [31] también desarrollado a través de encuestas, muestra que este tipo de práctica proporciona a los usuarios, instructores y personal del laboratorio, un acceso flexible al sistema desde varias ubicaciones, ampliando las posibilidades para el desarrollo de las actividades y, de igual manera, para el aprendizaje. Conclusiones similares fueron obtenidas por [32] para evaluar un laboratorio remoto de análisis químico por espectroscopia de absorción atómica.

3.1.3. Creación de laboratorios remotos, enfatizando la estructura de la actividad práctica

Para el caso del grupo *denominado creación de laboratorios remotos, enfatizando la estructura de la actividad práctica*, se ha agrupado aquellos estudios que en general plantean la inexistencia de mayores diferencias entre los aprendizajes obtenidos por los estudiantes en prácticas realizadas con un experimento accesible de forma presencial o remota. Entendiendo que el éxito de la implementación se basa en prácticas adecuadas a la modalidad, y cuyo diseño es pertinente a la necesaria mediación entre el estudiante, los conocimientos y habilidades que deben ser adquiridas.

Al respecto, pueden considerarse en este grupo los trabajos realizados de varios autores [26], [33], [34], [35], [36], [37], [38], que enfatizan sobre la analítica del aprendizaje y la evaluación del desempeño mostrado por los estudiantes usuarios del laboratorio. También, se enfocan en el tratamiento pedagógico implícito al momento de diseñar y crear los experimentos asociados.

Por otro lado, la mayoría de las investigaciones agrupadas bajo este criterio realizan una contrastación entre los resultados de aprendizaje logrados con esta modalidad y experiencias desarrolladas en laboratorios presenciales tradicionales, dando cuenta de resultados similares. A su vez las pequeñas diferencias observadas se relacionan con lo novedoso de esta modalidad de laboratorio y a la lenta curva de aprendizaje propia de las herramientas TIC de mayor complejidad.

3.2. Artículos relacionados con estudios sobre la influencia de los laboratorios remotos sobre el desarrollo de capacidades declaradas.

En este tema se incluyen 22 investigaciones relacionadas con la *influencia de los laboratorios remotos en el desarrollo de capacidades declaradas*, que mostraron enfoques similares, posibles de subdividir en dos tipos.

3.2.1. Enfoque en la estructura y el diseño del sistema de aprendizaje.

En este caso se consideraron las investigaciones sobre discusiones, disposiciones y toma de decisiones relacionadas con las estrategias pedagógicas implementadas, en general, manifestadas en un diseño de tipo inductivo que comienza con la fase de experimentación para luego introducir los enfoques teóricos y conceptuales, siendo esto un completo cambio de paradigma frente a los laboratorios tradicionales presenciales, donde las prácticas se desarrolla en una lógica inversa.

Lo anterior puede evidenciarse, principalmente, en el trabajo presentado por [39], quienes discuten las estrategias pedagógicas relacionadas al acceso remoto de equipos experimentales en las áreas de ciencia de materiales y nanotecnología. A su vez, [40] identifican que esta lógica experimental de debe sustentar en un aprendizaje activo, instalaciones de recopilación de datos y seguridad adecuada. Por su parte, los autores Terkowsky et al. [41] ponen de relieve en su estudio la importancia de un adecuado nexo entre las actividades de enseñanza y aprendizaje asociados a la implementación de laboratorios remotos para obtener mejores resultados académicos.

También debe considerarse que los estudios [42], [43], [44] recogen en su investigación criterios importantes para un adecuado acompañamiento pedagógico a los estudiantes usuarios de este tipo de laboratorio durante la implementación de prácticas virtuales. Cabe señalar, que siguiendo esta lógica además, los autores Hassane et al. [14] son los únicos, que se adentran en la necesidad de estándares para el desarrollo de laboratorios teleoperados proponiendo un borrador de la norma IEEE p1876'M relacionada con Objetos de Aprendizaje Inteligentes en Red de Laboratorios en Línea, indicando métodos de almacenamiento y recuperación de objetos de aprendizaje aplicable a los laboratorios remotos.

3.2.2. Sobre la conveniencia de la utilidad de experimentos a distancia.

En este grupo se enfatiza la utilidad de la experimentación remota en los casos en los que los experimentos pueden resultar peligrosos para el ejecutor (manejo de gases o sustancias tóxicas, exposición a radiación, peligro de impacto o electrocución, entre otros).

En este sentido Saxena & Satsangee [45] refuerzan el planteamiento que el acceso remoto a experimentos reales es crucial para que los estudiantes a distancia experimenten las ciencias. Además, Wu & Albion [46] señalan como parte de sus conclusiones que los laboratorios de acceso remoto están pedagógicamente bien implementados en las universidades participantes del estudio. Budai & Kuczmann [47] afirman a través de su investigación que el uso de este tipo de laboratorio permite el rastreo del comportamiento de los estudiantes, así como la recopilación de estadísticas asociadas. Estos hallazgos se refuerzan en otro estudio [48], quienes afirman que un

laboratorio remoto funcional puede significar una solución viable para proporcionar experimentos de laboratorio dentro de las limitaciones de espacio o acceso en instalaciones universitarias.

De igual manera, May et al. [49] enfatizan la importancia y eficacia de los laboratorios remotos para respaldar los procesos de aprendizaje de los estudiantes; Schlichting et al. [50] muestran a través de su investigación que la implementación de este tipo de laboratorios permite a los estudiantes y profesores realizar experimentos en un ambiente seguro y flexible a través de internet en laboratorios remotos reales y [51] consideran a los laboratorios remotos como un recurso de educación a distancia importante y eficiente para implementar experimentos prácticos en electrónica.

Finalmente debe mencionarse a autores [4], [52], [53], [54], [55], [56] que evidencian correlaciones significativas entre el uso de este tipo de laboratorio, por parte de los estudiantes, y el mayor desarrollo de los aprendizajes esperados, evidenciando de esta manera la conveniencia de la utilidad del uso de experimentos a distancia.

3.3. Artículos relacionados con el planteamiento de un laboratorio remoto operado por estudiantes desde teléfonos celulares

Este enfoque en la investigación fue observado en 2 publicaciones, lo que corresponde a un 3,7% del total general. Si bien es cierto que los dispositivos móviles de comunicación (teléfonos móviles, tabletas y computadores portátiles) en la actualidad manifiestan un gran crecimiento respecto a computadores de escritorio [57] también es cierto que este tipo de dispositivos no cuentan con una pantalla de visualización de experimentos lo suficientemente amplia como para permitir al estudiante una interacción más precisa y contextualizada, por lo que el uso de este tipo de dispositivos ha sido poco abordado para este tipo de experimentación.

Este tipo de experimentación fue desarrollada por Zualkernan [58], Limpraptono & Nurcahyo [59], concluyendo que el uso de tabletas presenta ventajas sobre el uso de teléfonos móviles dado el mayor tamaño de las pantallas, permitiendo una mejor observación del experimento, al tiempo que los experimentos fueron intencionados a modo de juego.

3.4. Artículos relacionados con las interfases web para creación de un laboratorio remoto

Los documentos sobre investigaciones diseñadas para evaluar el uso de interfases vía web para la creación de un laboratorio remoto corresponden a un 3,7% de los observados (2 en total). Esta opción se presenta aisladamente, ya que en el desarrollo de laboratorios operados en forma remota se tiende a elegir la opción de navegadores web con esta finalidad, los cuales proporcionan todos los elementos de soporte necesario para la implementación de tales tipos de laboratorios.

Al respecto Guerra et al. [25], Khalfallah & Bern Hadj [60] muestran en sus investigaciones que es posible la realización de experimentos a distancia a través de una plataforma web estructurada de forma conveniente, sencilla e intuitiva, obteniendo resultados favorables desde la óptica del proceso enseñanza-aprendizaje.

3.5. Artículos de reseñas

Consideramos importante identificar publicaciones del tipo reseñas bibliográficas sobre laboratorios remotos, encontrando un total de 2 publicaciones (3,7% del total).

Es de notar que la primera de ellas, presentada por Almarshud [2] concentra la revisión de literatura relacionada con el uso de laboratorios remotos en el campo de la ingeniería eléctrica entre los años 2001 al 2011, indicando que este tipo de planteamiento tuvo una presencia significativa a principios de este milenio, en parte atribuible al advenimiento de Internet y en parte por el protocolo TCP/IP desarrollado para conexiones remotas, en conjunto con la disponibilidad de tarjetas de adquisición de datos que hicieron posible el control físico sobre los experimentos reales. Concluye haciendo énfasis en el hecho de que para la fecha no existe un claro estándar para este tipo de planteamientos y desarrollos.

La segunda de ellas agrupa tanto artículos publicados en revistas científicas como presentaciones en congresos internacionales, puntualizando en elementos de planificación y diseño de los materiales y equipos educativos involucrados. Ambos autores [61] y [2], concluyen sus respectivas investigaciones planteando características básicas que debe cumplir una aplicación para laboratorio remoto, indicando el valor de la facilidad intrínseca de comprensión y uso para estudiantes, la facilidad de uso por parte del docente y la necesaria adaptación del material educativo convencional para su uso en este tipo de experimentos.

Conclusiones

Este tipo de laboratorio ha sido objeto de investigación en muchas universidades e Institutos de formación técnica en todo el mundo desde hace muchos años (MIT, Standford, UNED, Cambridge, UNED, entre otras). Como se observa en esta investigación, muchos de ellos han sido desarrollados a medida de las necesidades particulares de la institución, del experimento necesario a realizar y de los intereses de los propios grupos de investigación, dicho de otra manera, no fueron diseñados puntualmente como una alternativa a los laboratorios presenciales sino como un producto que resuelve una necesidad particular en la formación de los estudiantes.

El estudio de la literatura relacionada con los laboratorios remotos en educación superior muestra el estado incipiente de este tipo de investigaciones, en comparación con el desarrollo efectivo de prácticas de laboratorio presenciales tradicionales. Lo primero que debe observarse es que la cantidad de literatura publicada tuvo un crecimiento relativamente constante desde el año de inicio de este

estudio (2010), siendo que se manifiesta una profunda caída en esta tendencia a partir del año 2020, lo que puede asociarse al inicio de la crisis sanitaria impuesta por el estado de pandemia manifiesto en tal momento, lo cual de alguna manera puede resultar contradictorio pues este tipo de investigación permitiría, al menos conceptualmente, paliar las dificultades de contar con experimentación bajo un contexto de restricción a la presencia física en los laboratorios.

En cuanto al contenido de los artículos revisados, destaca que la mayor cantidad de estos se relaciona con el estudio de la influencia de los laboratorios teleoperados sobre el desarrollo de capacidades y aprendizajes declarados o bien sobre la creación de laboratorios remotos, lo cual constituye el 89.0% de la literatura analizada, mostrando una clara tendencia desde la investigación a este tipo de desarrollos tecnológicos y su aplicación en la formación. En estos estudios se enfatiza que el uso de tecnologías avanzadas, como las vinculadas a este tipo de laboratorio, motiva a los estudiantes a generar ambientes creativos de auto aprendizaje, teniendo la oportunidad de conectar la teoría con el mundo real sin las limitantes de disponibilidad de equipos, cantidad de sesiones de uso permitidas o restricciones impuestas por los docentes o los aprendizajes esperados, donde el estudiante puede internalizar y responsabilizarse de forma positiva de su papel central en el propio proceso de enseñanza/aprendizaje. En general, en la literatura estudiada, los estudiantes evalúan la experiencia de uso como "útiles" y "gratificantes" [4].

En general, el trabajo experimental se hace fundamental en el proceso formativo de estudiantes en el ámbito de las ciencias y la técnica, en particular en carreras asociadas a la ingeniería. A pesar de que el uso de simuladores se ha convertido también en una tendencia, en especial para aquellas instituciones que carecen de recursos o disponibilidad de laboratorios físicos, los laboratorios de experimentación remota proporcionan una experiencia mucho más cercana a la desarrollada en un laboratorio físico e incluso se identifican ventajas en este tipo de desarrollos tecnológicos, frente a la experimentación real. Además, su naturaleza remota les permite adherirse a procesos de enseñanza en línea a través de redes como la Internet [50], [2], [18], [21], [22], [23], [27], [60], [3]. Se convierte en una herramienta útil para procesos de enseñanza asincrónicos y que van en relación directa con las necesidades y preferencias de las emergentes generaciones de estudiantes, acostumbrados cada día más a la comunicación y trabajo en estas modalidades.

Las principales limitaciones de este estudio son el considerar solo 2 bases de datos para esta búsqueda de estudios, ambas de habla inglesa, lo que pudo marginar un grupo de investigaciones desarrolladas en Iberoamérica.

Referencias

[1] M. J. Grant and A. Booth, "A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies," *Health Info. Libr. J.*, vol. 26, no. 2, pp.

91–108, Jun. 2009, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>

[2] A. F. Almarshoud, "The advancement in using remote laboratories in electrical engineering education: a review," *Eur. J. Eng. Educ.*, vol. 36, no. 5, pp. 425–433, Oct. 2011, doi: <https://doi.org/10.1080/03043797.2011.604125>

[3] E. Guimarães, E. Cardozo, D. H. Moraes, and P. R. Coelho, "Design and implementation issues for modern remote laboratories," *IEEE Trans. Learn. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 149–161, 2011, doi: <https://doi.org/10.1109/TLT.2010.22>

[4] N. Lima, G. Alves, C. Viegas, and I. Gustavsson, "Combined efforts to develop students experimental competences," in *3rd Experiment International Conference: Online Experimentation*, 2015, pp. 243–248, doi: <https://doi.org/10.1109/EXPAT.2015.7463273>

[5] I. Grout, "Remote laboratories as a means to widen participation in STEM education," *Educ. Sci.*, vol. 7, no. 85, pp. 1–18, Dec. 2017, doi: <https://doi.org/10.3390/educsci7040085>

[6] J. Gómez-Arribas, F. J., Holgado, S., López-de-Vergara, "Integración de experimentos de laboratorio remotos en un entorno ubicuo de aprendizaje," in *I Simposio sobre Computación Ubicua e Inteligencia Ambiental (UCAmI'2005)*, 2005, pp. 337–344, [Online]. Available: <https://www.dit.upm.es/~jlopez/publicaciones/ucami05.pdf>

[7] T. Susinos-Rada, C. Rodríguez-Hoyos, A. Calvo-Salvador, and Á. Saiz-Linares, "A Student Voice Research Project in Spain," *Magis, Rev. Int. Investig. en Educ.*, vol. 11, pp. 39–54, 2019, doi: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ml1-23.iisv>

[8] S. Contreras, J. Carlos Martínez, O. Acevedo, E. Gómez, and C. D. C T, "Tele-operated laboratory of digital techniques laboratorio tele-operado de técnicas digitales," *Rev. Colomb. Technol. Av.*, vol. 2, no. 6, pp. 92–96, 2005, Accessed: Jan. 07, 2022. [Online]. Available: https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/01_general/revista_6/13102011/15.pdf

[9] R. Rodríguez Zamora and L. A. Espinoza Núñez, "Trabajo colaborativo y estrategias de aprendizaje en entornos virtuales en jóvenes universitarios TT - Collaborative work and learning strategies in virtual environments in university youth TT - Estratégias de trabalho e de aprendizagem colaborativa em ," *RIDE. Rev. Iberoam. para la Investig. y el Desarro. Educ.*, vol. 7, no. 14, pp. 86–109, 2017, doi: <https://doi.org/10.23913/ride.v7i14.274>

[10] E. K. Faulconer and A. B. Gruss, "A review to weigh the pros and cons of online, remote, and distance science laboratory experiences," *Int. Rev. Res. Open Distance Learn.*, vol. 19, no. 2, pp. 155–168, 2018, doi: <https://doi.org/10.19173/irrodl.v19i2.3386>

[11] M. H. Zhang, C. Y. Su, Y. Li, and Y. Y. Li, "Factors

- affecting Chinese university students' intention to continue using virtual and remote labs," *Australas. J. Educ. Technol.*, vol. 36, no. 2, pp. 169–185, 2020, doi: <https://doi.org/10.14742/AJET.5939>
- [12] A. Moulay Taj, J. Chacon Sombria, A. Gaga, A. Abouhilal, and A. Malaoui, "Conception and Implementation of an IoT System for Remote Practical Works in Open Access University's Electronic Laboratories," *Int. J. Online Biomed. Eng.*, vol. 17, no. 02, p. 19, 2021, doi: <https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i02.19755>
- [13] K. A. A. Gamage, D. I. Wijesuriya, S. Y. Ekanayake, A. E. W. Rennie, C. G. Lambert, and N. Gunawardhana, "Online delivery of teaching and laboratory practices: Continuity of university programmes during COVID-19 pandemic," *Educ. Sci.*, vol. 10, no. 10, pp. 1–9, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/educsci10100291>
- [14] H. S. Hassane et al., "Special Session—Online Laboratories in Engineering Education: Innovation, Disruption, and Future Potential," in *IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, 2018, pp. 1228–1232, doi: <https://doi.org/10.1109/TALE.2018.8615131>
- [15] L. Codina, *Revisión bibliográfica sistematizada de Procedimientos generales y Framework para Ciencias Humanas y Sociales*. Barcelona: Universitat Pompeu Fabra, 2018.
- [16] I. Ferreira González, G. Urrútia, and P. Alonso-Coello, "Systematic Reviews and Meta-Analysis: Scientific Rationale and Interpretation," *Rev. Española Cardiol. (English Ed.)*, vol. 64, no. 8, pp. 688–696, Aug. 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rec.2011.03.027>
- [17] M. S. Dos Santos Lopes, L. Pacheco Gomes, R. M. P. Trindade, A. F. Da Silva, and A. C. D. C. Lima, "Web environment for programming and control of a mobile robot in a remote laboratory," *IEEE Trans. Learn. Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 526–531, Oct. 2017, doi: <https://doi.org/10.1109/TLT.2016.2627565>
- [18] L. Payá, O. Reinoso, A. Gil, and L. M. Jiménez, "Plataforma distribuida para la realización de prácticas de robótica móvil a través de Internet," *Inf. Tecnol.*, vol. 18, no. 6, pp. 27–38, 2007, doi: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642007000600005>
- [19] A. Vijayan, C. Nutakki, D. Kumar, K. Achuthan, B. Nair, and S. Diwakar, "Enabling a freely accessible open source remotely controlled robotic articulator with a neuro-Inspired control algorithm," *Int. J. Online Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 61–75, 2017, doi: <https://doi.org/10.3991/ijoe.v13i01.6288>
- [20] R. García-Misis, J. M. Cuadra-Troncoso, F. De La Paz López, and J. R. Álvarez-Sánchez, "Development of a Web Platform for On-line Robotics Learning Workshops Using Real Robots," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9108, pp. 232–239, 2015, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-18833-1_25
- [21] D. Garcia-Costa, A. Suarez, P. A. Martinez, J. Martos, R. Fayos, and E. Lopez-Iñesta, "A transversal virtual remote laboratory for teaching in stem disciplines using robotic platforms," *INTED2020 Proc.*, vol. 1, pp. 6069–6075, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.21125/INTED.2020.1643>
- [22] M. Ait Tahar, A. Schadschneider, and J. Stollenwerk, "Technical realisation of a remote-controlled forced mechanic oscillation experiment through the Internet," *Phys. Educ.*, vol. 54, no. 1, pp. 1–10, 2019, doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aae9b0>
- [23] N. Kafadarova, S. Sotirov, and M. Milev, "Remote Access to Wireless Communications Systems Laboratory - New Technology Approach," *US-China Educ. Rev.*, vol. A, no. 10, pp. 868–874, 2012, Accessed: Mar. 02, 2022. [Online]. Available: <https://eric.ed.gov/?id=ED538002>
- [24] C. Monzo, G. Cobo, J. A. Morán, E. Santamaría, and D. García-Solórzano, "Remote Laboratory for Online Engineering Education: The RLAB-UOC-FPGA Case Study," *Electron.*, vol. 10, no. 9, May 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10091072>
- [25] H. Guerra, A. Cardoso, V. Sousa, and L. M. Gomes, "Remote Experiments as an Asset for Learning Programming in Python," *Int. J. Online Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 71–73, 2016, doi: <https://doi.org/10.3991/ijoe.v12i04.5278>
- [26] W. Halimi, C. Salzmann, and D. Gillet, "The Smart Wind Turbine Lab," in *3rd Experiment International Conference (exp.at'15)*, 2015, pp. 118–119, doi: <https://doi.org/10.1109/EXPAT.2015.7463233>
- [27] C. Barros, C. P. Leão, F. Soares, G. Minas, and J. Machado, "RePhyS: A multidisciplinary experience in remote physiological systems laboratory," *Int. J. Online Eng.*, vol. 9, no. 5, pp. 21–24, 2013, doi: <https://doi.org/10.3991/ijoe.v9i5S.2756>
- [28] S. Tumkor, M. Zhang, Z. Zhang, Y. Chang, S. K. Esche, and C. Chassapis, "Integration of a real-time remote experiment into a multi-player game laboratory environment," in *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 2012, vol. 5, pp. 181–190, doi: <https://doi.org/10.1115/IMECE2012-86944>
- [29] R. Ennetta and I. Nasri, "Developing a remote laboratory for heat transfer studies," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 5–8, 2015, doi: <https://doi.org/10.3991/ijim.v9i2.4368>
- [30] K. W. E. Cheng and C. L. Chan, "Remote hardware controlled experiment virtual laboratory for undergraduate teaching in power electronics," *Educ. Sci.*, vol. 9, no. 3, pp. 1–13, Sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/educsci9030222>
- [31] A. Gampe, A. Melkonyan, M. Pontual, and D. Akopian, "An assessment of remote laboratory experiments in radio communication," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 57, no. 1, pp. 12–19, 2014, doi: <https://doi.org/10.1109/TE.2013.2262685>

- [32] D. J. Erasmus, S. E. Brewer, and B. Cinel, "Assessing the engagement, learning, and overall experience of students operating an atomic absorption spectrophotometer with remote access technology," *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, vol. 43, no. 1, pp. 6–12, Jan. 2015, doi: <https://doi.org/10.1002/bmb.20838>
- [33] K. Bauer and L. Mendes, "WebLab of a DC motor speed control didactical experiment," *Campus-Wide Inf. Syst.*, vol. 29, no. 4, pp. 281–290, Aug. 2012, doi: <https://doi.org/10.1108/10650741211253877>
- [34] P. J. Axaopoulos, K. N. Moutsopoulos, and M. P. Theodoridis, "Engineering education using a remote laboratory through the Internet," *Eur. J. Eng. Educ.*, vol. 37, no. 1, pp. 39–48, Mar. 2012, doi: <https://doi.org/10.1080/03043797.2011.644764>
- [35] W. C. Karunianto and A. H. Saputro, "Design and Implementation Remote Laboratory based on Internet of Things Study Case in Diffraction Grating Experiment," in *International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications*, 2017, pp. 143–146, Accessed: Mar. 02, 2022. [Online]. Available: <https://inspirehep.net/literature/1651020>
- [36] L. Gonthier, M. Billaud, D. Lacoste, and T. Zimmer, "Remote photovoltaic outdoor solar lab," *2017 27th EAEEIE Annu. Conf. EAEEIE 2017*, pp. 1–5, 2017, doi: <https://doi.org/10.1109/EAEEIE.2017.8768678>
- [37] A. Parkhomenko, O. Gladkova, S. Kurson, A. Sokolyanskii, and E. Ivanov, "Internet-Based Technologies for Design of Embedded Systems," *J. Control Sci. Eng.*, vol. 2, pp. 55–63, Apr. 2015, doi: <https://doi.org/10.17265/2328-2231/2015.02.001>
- [38] R. Venant, P. Vidal, and J. Broisin, "Evaluation of Learner Performance during Practical Activities: An Experimentation in Computer Education," in *Proceedings - IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies*, Nov. 2016, pp. 237–241, doi: <https://doi.org/10.1109/ICALT.2016.60>
- [39] M. I. Mazuritskiy, S. A. Safontsev, B. G. Konoplev, and A. M. Boldyreva, "Remote Access to Scientific Laboratory Equipment and Competency-Based Approach to Science and Technology Education," <https://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-4666-7363-2.ch069>, vol. 3–3, pp. 1302–1316, Jan. 1AD, doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-7363-2.CH069>
- [40] D. Ramírez, M. S. Ramírez, and T. R. Marreno, "Novel use of a remote laboratory for active learning in class," *Chem. Eng. Educ.*, vol. 50, no. 2, pp. 141–148, 2016, Accessed: Mar. 02, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/615968>
- [41] C. Terkowsky, S. Frye, and D. May, "Online engineering education for manufacturing technology: Is a remote experiment a suitable tool to teach competences for 'Working 4.0'?", *Eur. J. Educ.*, vol. 54, no. 4, pp. 577–590, Dec. 2019, doi: <https://doi.org/10.1111/ejed.12368>
- [42] V. B. Thati *et al.*, "Best practices for organization and quality assessment of an e-learning training in the higher education system," *Edulearn19: 11th International Conference on Education and New Learning Technologies*. IATED-INT ASSOC TECHNOLOGY EDUCATION & DEVELOPMENT, pp. 1498–1508, 2019.
- [43] C. Felgueiras *et al.*, "A sustainable approach to laboratory experimentation," in *ACM International Conference Proceeding Series*, Oct. 2019, pp. 508–514, doi: <https://doi.org/10.1145/3362789.3362952>
- [44] B. Bordel, R. Alcarria, and T. Robles, "Industry 4.0 Paradigm on Teaching and Learning Engineering*," *Int. J. Eng. Educ.*, vol. 35, no. 4, pp. 1018–1036, 2019, Accessed: Mar. 07, 2022. [Online]. Available: http://search.freefind.com/find.html?si=97133703&pid=r&n=0&charset=UTF-8&bcd=&query=Industry+4.0+Paradigm+on+Teaching+and+Learning+Engineering*
- [45] S. Saxena and S. P. Satsangee, "Offering Remotely Triggered, Real-Time Experiments in Electrochemistry for Distance Learners," *J. Chem. Educ.*, vol. 91, no. 3, pp. 368–373, Mar. 2014, doi: <https://doi.org/10.1021/ed300349t>
- [46] T. Wu and P. R. Albion, "Investigating remote access laboratories for increasing pre-service teachers' STEM capabilities," *Educ. Technol. Soc.*, vol. 22, no. 1, pp. 82–93, 2019, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/332540288>
- [47] T. Budai and M. Kuczmann, "Towards a Modern, Integrated Virtual Laboratory System," *Acta Polytech. Hungarica*, vol. 15, no. 3, pp. 191–204, 2018, doi: <https://doi.org/10.12700/APH.15.3.2018.3.11>
- [48] A. Chevalier, C. Copot, C. Ionescu, and R. De Keyser, "A three-year feedback study of a remote laboratory used in control engineering studies," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 60, no. 2, pp. 127–133, May 2017, doi: <https://doi.org/10.1109/TE.2016.2605080>
- [49] D. May, C. Terkowsky, T. R. Ortelt, and A. E. Tekkaya, "The Evaluation of Remote Laboratories Development and application of a holistic model for the evaluation of online remote laboratories in manufacturing technology education," in *13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 2016, pp. 133–142, doi: <https://doi.org/10.1109/REV.2016.7444487>
- [50] L. C. M. Schlichting, S. G. De Ferreira, D. D. De Bona, F. De Faveri, J. A. Anderson, and G. R. Alves, "Remote laboratory: Application and usability," *Proc. 2016 Technol. Appl. to Electron. Teaching, TAAE 2016*, Aug. 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/TAAE.2016.7528355>
- [51] G. S. Ferreira, J. Lacerda, L. C. Schlichting, and G. R. Alves, "Enriched scenarios for teaching and learning electronics," Sep. 2014, doi: <https://doi.org/10.1109/TAAE.2014.6900132>
- [52] E. Al-Masri, "Lab-as-a-Service (LaaS): A Middleware Approach for Internet-Accessible

Laboratories," 2018, doi:
<https://doi.org/10.1109/FIE.2018.8658702>

[53] L. Favario and E. Masala, "Work-in-progress: Integrating a remote laboratory system in an online learning environment," *IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. EDUCON*, vol. 10-13-April, no. April, pp. 988–991, 2016, doi:
<https://doi.org/10.1109/EDUCON.2016.7474672>

[54] M. A. Marques *et al.*, "How remote labs impact on course outcomes: Various practices using VISIR," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 57, no. 3, pp. 151–159, 2014, doi:
<https://doi.org/10.1109/TE.2013.2284156>

[55] M. Tawfik *et al.*, "Grid Remote Laboratory Management System Sahara Reaches Europe," 2013, doi:
<https://doi.org/10.1109/REV.2013.6502889>

[56] A. Mikroyannidis *et al.*, "FORGE: An eLearning Framework for Remote Laboratory Experimentation on FIRE Testbed Infrastructure," *HAL Sci. Ouvert.*, vol. 1, pp. 521–559, 2017, Accessed: Mar. 07, 2022. [Online]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01656701>

[57] A. V. Basantes, M. E. Naranjo, M. C. Gallegos, and N. M. Benítez, "Los dispositivos móviles en el proceso de aprendizaje de la facultad de educación ciencia y tecnología de la universidad técnica del norte de Ecuador," *Form. Univ.*, vol. 10, no. 2, pp. 79–88, 2017, doi:
<https://doi.org/10.4067/S0718-50062017000200009>

[58] L. A. Zualkernan, G. A. Hussein, K. F. Loughlin, J. G. Mohebzada, and M. El Gaml, "Remote labs and game-based learning for process control," *Chem. Eng. Educ.*, vol. 47, no. 3, pp. 179–188, 2013, Accessed: Mar. 02, 2022. [Online]. Available: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1037354>

[59] F. Y. Limpraptono and E. Nurcahyo, "The Development of Electronics Telecommunication Remote Laboratory Architecture Based on Mobile Devices," *Int. J. online Biomed. Eng.*, vol. 17, no. 3, pp. 26–36, 2021, doi:
<https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i03.20179>

[60] J. Khalfallah and J. Ben Hadj Slama, "Facial Expression Recognition for Intelligent Tutoring Systems in Remote Laboratories Platform," in *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 73, pp. 274–281, doi:
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.030>

[61] T. Karakasidis, "Virtual and remote labs in higher education distance learning of physical and engineering sciences," *IEEE Glob. Eng. Educ. Conf.*, pp. 798–807, 2013.

Información de Contacto de los Autores:

Angel Villalobos

Av. Salvador 1318
Providencia, Santiago
Chile

angel.villalobos@iacc.cl

<https://www.iacc.cl>

ORCID id: <https://orcid.org/0000-0002-2957-5786>

Rosa Romero Alonso

Av. Salvador 1318
Providencia, Santiago
Chile

rosa.romero@iacc.cl

<https://www.iacc.cl>

ORCID id: <https://orcid.org/0000-0003-2800-5092>

Angel Villalobos

Ingeniero Electricista, Magister en Ingeniería de Control y Automatización de Procesos, se ha desempeñado como docente universitario por más de 25 años, es autor de cinco textos y de patentes electrónicas.

Rosa Romero Alonso

Doctora en Pedagogía, profesora de Postgrado en distintos programas maestría para profesores desde 2010 en universidades chilenas Ha participado en desarrollo de políticas públicas en TIC.