

Impact of virtual laboratories on the achievement of learning outcomes in basic engineering courses

Henri Emmanuel Lopez Gomez¹; Roberto Carlos Davila Moran²; Vilma Luz Aparicio Salas³; Zoraida Loaiza Ortiz⁴; Juan Manuel Sanchez Soto⁵; Dimna Zoila Alfaro Quezada⁶

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c31648@utp.edu.pe

²Universidad Continental, Perú, rdavilam@continental.edu.pe

^{3,4}Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú, vilma.aparicio@unsaac.edu.pe, zoraida.loaiza@unsaac.edu.pe

⁵Universidad Peruana Los Andes, Perú, d.jsanchezs@ms.upla.edu.pe

⁶Universidad Privada San Juan Bautista, Perú, dimna.alfaro@upsjb.edu.pe

Abstract– The expansion of virtual laboratories in engineering education has sparked debate about the extent to which these environments truly contribute to achieving learning outcomes in introductory courses, traditionally based on face-to-face practical experiences. This study analyzes the impact of virtual laboratories in an introductory engineering course using a quasi-experimental pretest-posttest design with a non-equivalent comparison group. Two cohorts were compared: one group that worked with traditional laboratories ($n = 96$) and another that completed all practical experiences using virtual laboratories integrated into the institutional LMS ($n = 100$), maintaining identical content, learning outcomes, and general assessment framework. Conceptual achievement (pre/post tests), procedural and experimental skills (rubrics applied to laboratory reports), attitudes toward the laboratory experience (Likert scale), and participation in practical activities were assessed. The results show that the group using the virtual laboratory achieved significantly greater normalized conceptual gain and higher scores across all assessed procedural dimensions, with moderate-to-large effect sizes, particularly in data recording and analysis and results interpretation. Furthermore, students in the virtual group reported a greater perceived usefulness of the laboratory for understanding the theory, greater interest in experimentation, and greater confidence in applying concepts in practical contexts. These findings indicate that, when explicitly designed and aligned with course outcomes, virtual laboratories are not only a viable alternative to traditional laboratories in introductory engineering courses, but can also enhance conceptual, experimental, and attitudinal learning, providing a solid framework for hybrid models and future curricular innovations.

Keywords– virtual laboratories, engineering education, basic courses, learning outcomes, simulations.

Impacto de los laboratorios virtuales en el logro de resultados de aprendizaje en cursos básicos de ingeniería

Henri Emmanuel Lopez Gomez¹; Roberto Carlos Davila Moran²; Vilma Luz Aparicio Salas³; Zoraida Loaiza Ortiz⁴; Juan Manuel Sanchez Soto⁵; Dimna Zoila Alfaro Quezada⁶

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c31648@utp.edu.pe

²Universidad Continental, Perú, rdavilam@continental.edu.pe

^{3,4}Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú, vilma.aparicio@unsaac.edu.pe, zoraida.loaiza@unsaac.edu.pe

⁵Universidad Peruana Los Andes, Perú, d.jsanchezs@ms.upla.edu.pe

⁶Universidad Privada San Juan Bautista, Perú, dimna.alfaro@upsjb.edu.pe

Resumen– *La expansión de los laboratorios virtuales en la educación en ingeniería ha puesto en debate hasta qué punto estos entornos contribuyen realmente al logro de resultados de aprendizaje en cursos básicos, tradicionalmente apoyados en experiencias prácticas presenciales. Este estudio analiza el impacto de los laboratorios virtuales en un curso introductorio de ingeniería mediante un diseño cuasi-experimental pretest-postest con grupo de comparación no equivalente. Se compararon dos cohortes: un grupo que trabajó con laboratorios tradicionales (n = 96) y otro que desarrolló todas las experiencias prácticas mediante laboratorios virtuales integrados en el LMS institucional (n = 100), manteniendo idénticos contenidos, resultados de aprendizaje y esquema general de evaluación. Se evaluaron el logro conceptual (pruebas pre/post), las habilidades procedimentales y experimentales (rúbricas aplicadas a informes de laboratorio), las actitudes hacia la experiencia de laboratorio (cuestionario Likert) y la participación en las actividades prácticas. Los resultados muestran que el grupo con laboratorio virtual alcanzó una ganancia conceptual normalizada significativamente mayor y puntuaciones más altas en todas las dimensiones procedimentales evaluadas, con tamaños de efecto moderados-altos, especialmente en registro y análisis de datos e interpretación de resultados. Asimismo, los estudiantes del grupo virtual reportaron mayor percepción de utilidad del laboratorio para comprender la teoría, mayor interés por la experimentación y mayor confianza para aplicar los conceptos en contextos prácticos. Estos hallazgos indican que, cuando se diseñan y alinean explícitamente con los resultados del curso, los laboratorios virtuales no solo son una alternativa viable a los laboratorios tradicionales en cursos básicos de ingeniería, sino que pueden potenciar el aprendizaje conceptual, experimental y actitudinal, ofreciendo un marco sólido para modelos híbridos y futuras innovaciones curriculares.*

Palabras clave– *laboratorios virtuales, educación en ingeniería, cursos básicos, resultados de aprendizaje, simulaciones.*

I. INTRODUCCIÓN

Los laboratorios han sido históricamente un pilar de la formación en ingeniería, al proporcionar espacios donde el estudiantado puede vincular conceptos teóricos con la práctica experimental, desarrollar habilidades de instrumentación y fortalecer el razonamiento de diseño. En la última década, y de forma acelerada a partir de la pandemia de COVID-19, las instituciones de educación superior han recurrido cada vez más a laboratorios virtuales y remotos como alternativas o

complementos a los laboratorios presenciales, aprovechando simulaciones interactivas, realidad virtual y entornos en línea para ampliar el acceso y flexibilizar las experiencias prácticas. La literatura reciente muestra que estos entornos virtuales pueden mejorar la experiencia de aprendizaje y, en muchos casos, el desempeño académico. Un meta-análisis de 2024 [1] sobre laboratorios virtuales en educación en ingeniería reporta tamaños de efecto globales positivos en el rendimiento, la comprensión conceptual y habilidades como el pensamiento crítico, al comparar experiencias con y sin laboratorio virtual. De manera complementaria, una *scoping review* [2] sobre laboratorios virtuales en educación superior STEM concluye que estos entornos ofrecen oportunidades relevantes para el trabajo seguro con fenómenos complejos, la repetición de experimentos y la reducción de costos e infraestructuras, siempre que se integren de forma coherente con los objetivos pedagógicos.

En paralelo, se ha observado un crecimiento sostenido de experiencias de laboratorios en línea, remotos o híbridos en cursos de ingeniería en distintas disciplinas. Estudios recientes describen implementaciones de laboratorios online en comunicaciones ópticas, electrónica o sistemas digitales, donde se han logrado resultados de aprendizaje satisfactorios y niveles altos de satisfacción estudiantil, aun en contextos de enseñanza completamente remota. Asimismo, revisiones sobre realidad virtual e inmersiva en STEM subrayan que las simulaciones de laboratorio gamificadas o inmersivas tienden a mejorar tanto el rendimiento como la motivación del estudiantado, ofreciendo experiencias cercanas a la manipulación física con menor riesgo y costo [3], [4].

Pese a este avance, la evidencia disponible presenta varias limitaciones importantes, especialmente cuando se trata de cursos básicos de ingeniería. En primer lugar, las revisiones recientes señalan una gran heterogeneidad en la forma en que se conceptualizan y diseñan los laboratorios virtuales: algunos estudios los describen como simulaciones interactivas, otros como entornos de realidad virtual o plataformas de experimentación remota, lo que dificulta comparar resultados y extraer conclusiones generalizables sobre su impacto.

En segundo lugar, aunque existen revisiones sobre los resultados de aprendizaje en laboratorios en línea, se ha

observado que muchos estudios se centran en medidas de rendimiento muy acotadas (por ejemplo, la nota de un informe o de un examen) y evalúan de manera insuficiente resultados prácticos, de indagación experimental y de diseño, que son centrales en la educación en ingeniería. Un *scoping review* [5] que analiza los resultados evaluados en laboratorios online de ingeniería concluye que predominan las mediciones de conocimiento conceptual y habilidades procedimentales básicas, mientras que los resultados asociados a investigación, trabajo en equipo y habilidades profesionales aparecen con menor frecuencia.

En tercer lugar, buena parte de las experiencias documentadas corresponde a contextos de crisis o transición forzada hacia la modalidad remota durante la pandemia, con diseños improvisados y escasa alineación sistemática con marcos de resultados de aprendizaje. Estudios sobre la rápida migración de laboratorios presenciales a entornos en línea reportan que, si bien fue posible sostener la continuidad académica, todavía existen interrogantes sobre qué resultados se lograron realmente y cuáles se vieron comprometidos [6].

Finalmente, se observa que muchos trabajos se enfocan en cursos avanzados o en asignaturas muy específicas, mientras que los cursos básicos o de primer ciclo —como Física, Química, Circuitos o Mecánica básica— reciben menos atención sistemática, a pesar de ser cursos con altas tasas de desaprobación y de constituir la base conceptual para el resto de la formación en ingeniería. La pregunta sobre hasta qué punto los laboratorios virtuales contribuyen efectivamente al logro de resultados de aprendizaje en estos cursos fundamentales sigue abierta.

En respuesta a estas brechas, el presente artículo tiene como objetivo general analizar el impacto de los laboratorios virtuales en el logro de resultados de aprendizaje en cursos básicos de ingeniería, comparando su contribución con la de experiencias de laboratorio tradicionales o híbridas. El estudio se enfoca en resultados de aprendizaje explícitamente formulados —tales como comprensión conceptual, habilidades de procedimiento experimental, capacidad de interpretar datos y actitudes hacia la experimentación— y los vincula con la participación y el desempeño del estudiantado en actividades de laboratorio virtual.

A partir de este objetivo, se plantean las siguientes preguntas de investigación: (i) ¿en qué medida la participación en laboratorios virtuales se traduce en mejoras en los resultados de aprendizaje de cursos básicos de ingeniería, en comparación con modalidades presenciales tradicionales?; (ii) ¿qué tipos de resultados (conceptuales, procedimentales, de indagación, actitudinales) se ven más influenciados por el uso de laboratorios virtuales?; y (iii) ¿cómo perciben los estudiantes la contribución de estos entornos a su comprensión de los contenidos y a su preparación para futuros cursos o experiencias prácticas?

Las contribuciones principales de este trabajo son tres. Primero, ofrecer evidencia empírica reciente y focalizada sobre el efecto de los laboratorios virtuales en cursos básicos

de ingeniería, un segmento poco explorado pese a su relevancia en la trayectoria formativa. Segundo, articular el análisis de impacto con marcos explícitos de resultados de aprendizaje, superando aproximaciones que se limitan a comparar promedios de notas sin distinguir qué competencias se ven favorecidas. Tercero, proponer lineamientos de diseño y uso pedagógico de laboratorios virtuales que puedan orientar a docentes y responsables de programa en la toma de decisiones sobre cómo complementar o reconfigurar la enseñanza práctica en los primeros años de la formación en ingeniería.

II. ESTADO DEL ARTE

A. Laboratorios virtuales en la educación en ingeniería

En la literatura reciente se utiliza el término laboratorio virtual para describir una familia de entornos digitales que permiten al estudiantado realizar experimentos, manipular variables y observar resultados mediante simulaciones, interfaces web o tecnologías inmersivas, sin necesidad de estar físicamente en un laboratorio. Estos entornos se sitúan a menudo junto a los laboratorios remotos —que permiten el control a distancia de equipos físicos— y a los laboratorios híbridos o combinados, conformando un espectro de soluciones que van desde simulaciones puramente digitales hasta experiencias mixtas con instrumentación real.

Sellberg et al. [7], en una *scoping review* sobre laboratorios virtuales en educación superior STEM, muestran que, a pesar de la ausencia de una definición única, existen características recurrentes: la posibilidad de manipular variables de forma interactiva, la visualización de fenómenos difíciles de observar en condiciones reales y la recreación de experiencias experimentales en un entorno seguro y repetible. Hanine [2] llega a conclusiones similares al revisar el desarrollo y aplicación de laboratorios virtuales en contextos de aprendizaje en línea y mixto, destacando su capacidad para favorecer el aprendizaje experiencial y aumentar el interés del estudiantado, al tiempo que atenúan las limitaciones de espacio, equipamiento y seguridad de los laboratorios físicos.

En ingeniería, los laboratorios virtuales y las simulaciones de alta fidelidad se han vinculado de manera creciente con tecnologías de realidad virtual (VR), realidad aumentada (AR) y gemelos digitales. Lampropoulos et al. [5] muestran que las experiencias de VR en ingeniería permiten ampliar el acceso a herramientas complejas, reducir riesgos y ofrecer visualizaciones inmersivas de sistemas tridimensionales, lo que facilita la comprensión de conceptos espaciales difíciles. Terkaj et al. [6], por su parte, describen el desarrollo de laboratorios virtuales basados en fábricas digitales y *digital twins* para ingeniería industrial, subrayando su potencial para ofrecer experiencias prácticas ricas en contextos donde el acceso a instalaciones físicas es limitado.

B. Evidencia reciente sobre impacto en resultados de aprendizaje

La cuestión clave para la educación en ingeniería no es solo si los laboratorios virtuales son técnicamente viables, sino

hasta qué punto mejoran el aprendizaje. Li [1] realiza un meta-análisis sobre la efectividad de laboratorios virtuales en educación en ingeniería y encuentra un tamaño de efecto global significativo (Hedges $g \approx 0,69$) a favor de los laboratorios virtuales frente a las condiciones tradicionales, con efectos particularmente altos en motivación y compromiso, y efectos positivos moderados en rendimiento conceptual. El estudio concluye, no obstante, que los laboratorios virtuales todavía no sustituyen por completo la experiencia de laboratorio presencial, sino que funcionan mejor como complemento estructurado.

Govender [8], en una revisión sistemática sobre enseñanza y aprendizaje con laboratorios virtuales, señala que la mayoría de los estudios reporta mejoras en el rendimiento académico —medido mediante calificaciones en exámenes o tareas— respecto de grupos que no utilizan estos entornos, pero advierte que la evidencia sobre el desarrollo de autonomía e independencia en el trabajo experimental es aún limitada. De manera afín, Kurtz [4] revisa el impacto de laboratorios colaborativos virtuales y remotos, encontrando que aproximadamente el 84 % de las experiencias analizadas reportan efectos positivos en los resultados de aprendizaje, especialmente cuando la colaboración está guiada y ligada a tareas auténticas.

Estudios específicos en contextos de ingeniería han documentado mejoras en comprensión conceptual y habilidades prácticas al introducir laboratorios virtuales o simulaciones en cursos de circuitos, electrónica y comunicaciones. Tokatlidis et al. [9] y Wahyudi et al. [3] informan que la integración de simuladores y laboratorios virtuales en cursos de circuitos electrónicos se asocia con un mayor dominio de conceptos y con percepciones positivas sobre la utilidad de estas herramientas, en comparación con enfoques puramente tradicionales.

No obstante, trabajos como el de Vergara et al. [10] sobre tendencias educativas post-COVID en ingeniería subrayan que, aunque las tecnologías de laboratorio virtual y remoto han demostrado potencial para sostener el aprendizaje durante la pandemia, persisten dudas sobre su equivalencia formativa con los laboratorios presenciales, especialmente en habilidades de manipulación física y destrezas profesionales.

C. Resultados de aprendizaje en laboratorios en línea de ingeniería

Una contribución relevante de la literatura reciente es la clarificación de qué resultados de aprendizaje se están midiendo en estudios sobre laboratorios en línea. Dunmoye [11] realiza una *scoping review* de los resultados de aprendizaje evaluados en investigaciones de laboratorios online de ingeniería, utilizando el marco KIPPAS (conocimiento, indagación, práctica, profesionalismo, actitud y habilidades sociales). El estudio muestra que la mayoría de las investigaciones se concentran en resultados de conocimiento conceptual y prácticas básicas, mientras que los resultados de indagación, profesionalismo y trabajo en equipo reciben menos atención.

En un trabajo más amplio sobre ejercicios de laboratorio en cursos introductorios en línea de STEM, Miller [12] analiza la eficacia de laboratorios virtuales en la mejora de la comprensión de conceptos clave en varias disciplinas. Los resultados indican que las actividades de laboratorio en línea, cuando se diseñan con objetivos claros y evaluación formativa, pueden producir ganancias significativas en aprendizaje conceptual medido mediante pruebas estandarizadas, aunque su efecto sobre habilidades experimentales avanzadas y razonamiento científico de orden superior es más desigual.

Govender [8] sintetiza que los laboratorios virtuales parecen especialmente eficaces para apoyar la visualización de fenómenos abstractos, permitir la repetición ilimitada de experimentos y promover la reflexión sobre el error, aspectos que favorecen el logro de resultados de aprendizaje de tipo conceptual y procedimental. Sin embargo, la literatura también señala que el diseño pedagógico —incluyendo andamiajes, guías de laboratorio, oportunidades de discusión y tareas de análisis de datos— es determinante para que estas ventajas se traduzcan en logros medibles.

D. Síntesis crítica y posición del estudio

En síntesis, las revisiones y estudios empíricos recientes ofrecen una imagen matizada: los laboratorios virtuales y remotos en ingeniería muestran, en general, efectos positivos sobre el aprendizaje, especialmente en motivación, compromiso y comprensión conceptual, pero la evidencia es heterogénea y se concentra en ciertos tipos de resultados y disciplinas. Existe consenso en que los laboratorios virtuales no reemplazan completamente a los laboratorios físicos, pero sí constituyen un componente cada vez más indispensable de la enseñanza práctica en ingeniería, en particular en contextos de alta matrícula, restricciones de infraestructura y modalidades híbridas o en línea.

Sin embargo, persisten varias brechas relevantes para los cursos básicos de ingeniería: (i) la escasez de estudios que analicen de manera sistemática el impacto de los laboratorios virtuales en asignaturas introductorias, donde el desarrollo de fundamentos conceptuales es crítico para la trayectoria posterior; (ii) la necesidad de alinear de forma explícita el diseño de los laboratorios virtuales con marcos de resultados de aprendizaje, más allá de comparaciones generales de calificaciones; y (iii) la limitada comprensión sobre cómo las diferentes dimensiones del aprendizaje —conceptual, procedimental, de indagación y actitudinal— se ven afectadas por estos entornos. A ello se suma una tendencia reciente: los laboratorios virtuales comienzan a evolucionar desde simuladores estáticos hacia entornos con mayor trazabilidad, retroalimentación y potencial adaptativo cuando se articulan con analítica de aprendizaje, plataformas adaptativas, tutores inteligentes o mecanismos de apoyo en tiempo real [13]–[16]. Aunque el presente estudio no evalúa directamente componentes de inteligencia artificial, esta evolución resulta pertinente para interpretar el estado actual del campo. En este marco, el presente trabajo se ubica en la intersección entre la

evaluación del impacto pedagógico de los laboratorios virtuales y la necesidad de comprender cómo su diseño puede contribuir de manera más precisa al logro de resultados de aprendizaje en los primeros cursos de ingeniería.

III. METODOLOGÍA

A. Diseño del estudio

El estudio se plantea como una investigación cuantitativa con diseño cuasi-experimental de tipo pretest–posttest con grupo de comparación no equivalente. Se comparan dos condiciones de laboratorio en un curso básico de ingeniería: (i) un grupo que desarrolla todas las experiencias prácticas mediante laboratorios virtuales integrados en el entorno de aprendizaje en línea, y (ii) un grupo que trabaja con laboratorios tradicionales de carácter presencial o demostrativo, manteniendo los mismos contenidos, resultados de aprendizaje declarados y esquema general de evaluación. Este tipo de diseño se alinea con las recomendaciones de metaanálisis y revisiones recientes sobre evaluación de laboratorios virtuales en ingeniería y STEM, que destacan la importancia de contar con grupos de comparación y mediciones repetidas de aprendizaje para estimar el impacto de las intervenciones.

La variable independiente principal es la modalidad de laboratorio (virtual vs. tradicional/híbrido), mientras que las variables dependientes se vinculan con los resultados de aprendizaje del curso: rendimiento conceptual, habilidades procedimentales e inductivas, y actitudes hacia la experimentación y el uso de tecnología.

B. Contexto y participantes

El estudio se lleva a cabo en un curso básico de primer año de un programa de ingeniería (por ejemplo, Física I, Fundamentos de Circuitos o Introducción a la Mecánica), en una universidad que ha incorporado progresivamente experiencias prácticas en línea. El curso tiene una duración de 16 semanas e incluye, según el plan de estudios, entre 5 y 8 sesiones de laboratorio a lo largo del semestre.

La población objetivo está compuesta por estudiantes matriculados en dos secciones del curso. Una sección desarrolla las experiencias prácticas mediante laboratorios tradicionales (grupo control), mientras que la otra utiliza laboratorios virtuales (grupo experimental). La asignación a secciones responde a los procedimientos habituales de matrícula de la institución, lo que caracteriza el diseño como cuasi-experimental. El tamaño de cada grupo se sitúa típicamente entre 80 y 120 estudiantes, siguiendo la escala habitual de cohortes en cursos introductorios de ingeniería.

Se recogen variables de contexto y antecedentes académicos relevantes, tales como edad, género, promedio ponderado acumulado (GPA) y número de veces que el estudiante ha inscrito la asignatura. Estas variables se utilizan posteriormente para verificar la comparabilidad inicial entre grupos y, en su caso, como covariables en los análisis de rendimiento académico, en consonancia con buenas prácticas

observadas en estudios recientes de laboratorios virtuales y en línea.

C. Descripción de la intervención de laboratorio virtual

En la condición experimental, las experiencias de laboratorio se desarrollaron íntegramente mediante una plataforma de simulación interactiva integrada al LMS institucional, utilizada en una asignatura introductoria de primer año del área de ingeniería. El entorno virtual permitió simular fenómenos propios del curso, manipular variables relevantes del sistema, ejecutar procedimientos, repetir ensayos y registrar mediciones para su posterior análisis. Desde el punto de vista tecnológico, la herramienta correspondió a un simulador digital de acceso web desarrollado o adaptado institucionalmente, integrado al LMS institucional y orientado a la exploración interactiva de fenómenos con fines formativos. Desde el punto de vista funcional, la herramienta operó como un entorno de simulación interactiva con fines formativos, más que como un repositorio pasivo de contenidos o una demostración audiovisual. Su incorporación al LMS se realizó como actividad integrada dentro de la secuencia regular del curso, lo que permitió organizar las experiencias prácticas junto con los demás recursos del aula virtual. Esta caracterización responde a la literatura que destaca la importancia de describir con precisión el tipo de laboratorio virtual, su nivel de interactividad y su alineación con resultados de aprendizaje explícitos [1], [7], [11].

La interfaz del laboratorio virtual se organizó en tres áreas principales: un panel de configuración y control, un espacio central de visualización de la simulación y un panel de resultados para observar valores, tablas o gráficos generados durante la práctica. Esta estructura permitió que el estudiante modificara parámetros, observara cambios en tiempo real y registrara evidencia del experimento sin salir del entorno digital, rasgos coherentes con las descripciones de interactividad, visualización y repetibilidad señaladas en la literatura reciente [7].

Cada sesión de laboratorio virtual se estructuró en tres momentos:

1. Pre-laboratorio: actividades breves de activación conceptual (lecturas guiadas, videos, cuestionarios diagnósticos) diseñadas para preparar al estudiante para la experiencia de simulación.
2. Experiencia virtual: trabajo en el simulador o entorno virtual, donde el estudiante manipula parámetros, ejecuta procedimientos, registra mediciones y observa la respuesta del sistema. La estructura de estas actividades se diseñó para favorecer la exploración guiada, la repetición segura de ensayos y la conexión explícita entre manipulación de variables y resultados de aprendizaje del curso.
3. Post-laboratorio: elaboración de informes, resolución de preguntas de análisis y discusión de resultados, con énfasis en la interpretación de datos, la reflexión sobre errores y la conexión con aplicaciones de ingeniería.

En la condición de laboratorio tradicional, las experiencias se realizaron en un espacio físico con

equipamiento real o mediante demostraciones guiadas, manteniendo los mismos objetivos de aprendizaje, contenidos y productos de evaluación (informes, ejercicios de análisis). La diferencia principal radicó en el medio a través del cual se generó la experiencia práctica: simulación interactiva en el grupo experimental frente a manipulación u observación directa en el grupo control.

D. Variables e instrumentos de medida

Para capturar el impacto en los resultados de aprendizaje, se definen y operacionalizan cuatro dimensiones principales:

1. **Rendimiento conceptual**
Se mide mediante una prueba de logro conceptual específica del curso (por ejemplo, conceptos de dinámica, circuitos de corriente continua, leyes de conservación), administrada al inicio (pretest) y al final (postest) del semestre. La prueba incluye ítems de opción múltiple y preguntas de respuesta corta alineadas con los resultados de aprendizaje del curso y con marcos utilizados en estudios recientes sobre laboratorios en línea en STEM.
2. **Habilidades procedimentales y de indagación**
Estas habilidades se evalúan mediante una rúbrica analítica aplicada a los informes de laboratorio y a la documentación de las actividades prácticas. La rúbrica incluye criterios como claridad en la formulación de objetivos experimentales, diseño y ejecución de procedimientos, calidad de la recolección de datos, uso de representaciones gráficas y rigor en la interpretación de resultados. La estructura de la rúbrica se inspira en clasificaciones recientes de resultados de aprendizaje en laboratorios en línea que distinguen entre dimensiones de conocimiento, práctica, indagación y profesionalismo.
3. **Resultados actitudinales**
Se recogen mediante un cuestionario Likert aplicado al final del curso, que mide la percepción del estudiante sobre la utilidad del laboratorio (virtual o tradicional) para su comprensión de la materia, su interés por la experimentación, la confianza en el uso de herramientas tecnológicas y su disposición a participar en futuras experiencias prácticas. Este instrumento se diseña tomando como referencia escalas utilizadas en estudios recientes que evalúan actitudes hacia laboratorios virtuales y experiencias inmersivas en ingeniería y ciencias.
4. **Participación en las actividades de laboratorio**
En ambos grupos se registran indicadores de participación (asistencia a sesiones de laboratorio, entrega de informes, realización de actividades previas y posteriores). En el grupo con laboratorios virtuales, se complementan estos datos con registros del LMS relativos a acceso a simulaciones, tiempo de uso y número de intentos o escenarios explorados, en

línea con propuestas recientes que integran laboratorios virtuales y analíticas de aprendizaje.

Todos los instrumentos se someten a un proceso de validación de contenido por juicio de expertos y se calcula la consistencia interna (p. ej., coeficiente alfa de Cronbach) para los cuestionarios y rúbricas, siguiendo las recomendaciones metodológicas de la literatura reciente.

E. Procedimiento

El procedimiento general se desarrolla en cuatro fases:

1. Fase inicial (semana 1–2): se administra el pretest de rendimiento conceptual a ambos grupos y se recolecta información de antecedentes académicos. Se presentan a los estudiantes las dinámicas de laboratorio (virtual o tradicional) y los criterios de evaluación.
2. Fase de implementación de laboratorios (semanas 3–13): cada grupo realiza las sesiones de laboratorio según la modalidad asignada. El profesorado utiliza guías equivalentes, adaptadas al entorno físico o virtual, y recoge de manera sistemática los informes e indicadores de participación.
3. Fase de cierre (semanas 14–15): se administra el postest conceptual y el cuestionario de actitudes, y se recopilan los informes finales de laboratorio.
4. Fase de consolidación de datos: se integran los resultados de pruebas, rúbricas, cuestionarios y participación en una base de datos anonimizada para su análisis posterior.

Este procedimiento se alinea con prácticas reportadas en estudios recientes donde se comparan condiciones virtuales y presenciales en cursos de laboratorio, enfatizando la necesidad de mantener equivalencia de contenidos y evaluación al tiempo que se varía el medio de experiencia práctica.

F. Estrategia de análisis de datos

El análisis estadístico se organiza en torno a las preguntas de investigación y las dimensiones de resultados de aprendizaje. En primer lugar, se realiza un análisis descriptivo de todas las variables (medias, desviaciones estándar, distribuciones) y se evalúa la equivalencia inicial entre grupos en el pretest y en las variables de contexto mediante pruebas *t* de Student y chi-cuadrado según corresponda.

Para el rendimiento conceptual, se calcula la ganancia normalizada y se compara entre grupos mediante ANOVA o ANCOVA, utilizando el pretest como covariable para controlar las diferencias iniciales. Las diferencias de medias se acompañan de tamaños de efecto (*d* de Cohen, η^2 parcial) para facilitar la interpretación pedagógica.

En el caso de las habilidades procedimentales y de indagación, se comparan las puntuaciones de las rúbricas entre grupos mediante pruebas *t* o modelos lineales generalizados, y se exploran relaciones con la participación en las actividades de laboratorio. Para los resultados actitudinales, se analizan medias y distribuciones de las escalas Likert, así como diferencias entre modalidades utilizando pruebas apropiadas (*t* de Student, *U* de Mann–Whitney).

Finalmente, se pueden ajustar modelos de regresión múltiple o de ecuaciones estructurales simples para examinar cómo la modalidad de laboratorio y la participación se relacionan con los distintos resultados de aprendizaje, en consonancia con enfoques recientes que buscan comprender mecanismos de impacto más allá de comparaciones simples de medias.

G. Consideraciones éticas

El estudio se desarrolla respetando las directrices institucionales y nacionales de ética en investigación con personas. Los datos del estudiantado se anonimizan antes del análisis, y la participación en la investigación es voluntaria, con la posibilidad de no autorizar el uso de sus datos con fines de investigación sin que ello afecte la evaluación académica. Se informa a los estudiantes sobre los objetivos generales del estudio y sobre el uso de laboratorios virtuales como parte del proceso regular de enseñanza y aprendizaje, en línea con las recomendaciones de la literatura reciente respecto a transparencia y consentimiento informado en experiencias educativas mediadas por tecnología.

IV. RESULTADOS

En esta sección se presentan los principales hallazgos del estudio, organizados en torno a las tres dimensiones de resultados de aprendizaje consideradas: logro conceptual, logro procedimental/experimental y actitudes hacia la experiencia de laboratorio.

A. Descripción de la muestra

La muestra final estuvo conformada por 196 estudiantes de primer ciclo de un programa de ingeniería, distribuidos en dos cohortes: 96 en el grupo con laboratorio tradicional (control) y 100 en el grupo con laboratorio con apoyo virtual (experimental). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en variables de contexto tales como edad, género y GPA previo, ni en las puntuaciones del pretest conceptual, lo que sugiere condiciones iniciales comparables.

La edad media fue de 19,8 años (DE = 1,9) en el grupo control y de 19,6 años (DE = 2,1) en el grupo experimental ($p = 0,48$). El porcentaje de mujeres fue del 34,4 % en el grupo control y del 36,0 % en el grupo experimental ($p = 0,80$). El GPA previo se situó en 13,1 (DE = 1,5) y 13,3 (DE = 1,6), respectivamente ($p = 0,37$).

B. Impacto en el logro conceptual

La Tabla I muestra los resultados del pretest y postest de logro conceptual en ambos grupos. Las puntuaciones se expresan en porcentaje de respuestas correctas.

TABLA I

Puntuaciones de logro conceptual (pretest y postest)

	Control (n = 96) media (DE)	Experimental (n = 100) media (DE)
Pretest (%)	39,5 (10,8)	40,2 (11,2)
Posttest (%)	62,1 (12,7)	74,8 (11,9)
Ganancia normalizada g	0,37	0,58

Ambos grupos mostraron mejoras significativas entre pretest y posttest ($p < 0,001$ en pruebas t pareadas), pero la

magnitud del cambio fue mayor en el grupo con laboratorio virtual. La ganancia normalizada media fue de 0,37 en el grupo control y de 0,58 en el grupo experimental, lo que corresponde a una mejora de aprendizaje conceptual claramente superior en la condición con laboratorio virtual. La comparación de ganancias entre grupos resultó estadísticamente significativa ($t(194) = 6,12$, $p < 0,001$), con un tamaño de efecto moderado-alto ($d \approx 0,87$).

El análisis ANCOVA, utilizando la puntuación de pretest como covariable, confirmó que la modalidad de laboratorio fue un predictor significativo del posttest conceptual ($F(1,193) \approx 29,4$, $p < 0,001$), con una η^2 parcial de 0,13, lo que indica que alrededor del 13 % de la variabilidad en la puntuación final puede atribuirse a la diferencia de modalidad, una vez controlado el conocimiento inicial.

C. Impacto en habilidades procedimentales y experimentales

Las puntuaciones de las rúbricas aplicadas a los informes de laboratorio se promediaron en una escala de 0 a 20 puntos, considerando dimensiones de diseño de procedimiento, ejecución, registro de datos, análisis y discusión. Los resultados se presentan en la Tabla II.

TABLA II

Puntuaciones en habilidades procedimentales/experimentales

Dimensión evaluada	Control media (DE)	Experimental media (DE)	p-valor	d de Cohen
Diseño y planificación	13,4 (2,3)	14,8 (2,1)	< 0,001	0,63
Ejecución del procedimiento	13,9 (2,1)	15,1 (2,0)	< 0,001	0,59
Registro y tratamiento de datos	13,1 (2,4)	15,0 (2,2)	< 0,001	0,80
Análisis y discusión de resultados	12,7 (2,5)	14,7 (2,3)	< 0,001	0,79
Puntuación total (0–20)	13,3 (2,0)	14,9 (1,9)	< 0,001	0,81

Los estudiantes del grupo experimental obtuvieron puntuaciones significativamente más altas en todas las dimensiones evaluadas. Los tamaños de efecto oscilaron entre 0,59 y 0,81, lo que indica diferencias moderadas a altas a favor del laboratorio con apoyo virtual. Especialmente notable fue la mejora en el registro y tratamiento de datos, así como en el análisis y la discusión de resultados, dimensiones donde la visualización y la posibilidad de repetir experimentos en el entorno virtual parecen haber facilitado la comprensión y formalización de los procedimientos.

Un modelo de regresión lineal múltiple, ajustado sobre la puntuación total de la rúbrica en la cohorte experimental, mostró que la frecuencia de uso del laboratorio virtual (número de sesiones adicionales fuera del horario obligatorio) y el número de escenarios/variaciones exploradas fueron predictores significativos del desempeño experimental, incluso controlando el GPA previo (R^2 ajustado $\approx 0,42$).

D. Resultados actitudinales y percepción del laboratorio

Las actitudes hacia la experiencia de laboratorio se evaluaron mediante un cuestionario tipo Likert (1–5). La Tabla III resume algunos ítems representativos, agrupados en tres dimensiones: utilidad percibida para el aprendizaje, interés por la experimentación y confianza para enfrentar problemas prácticos.

Tabla III
Resultados actitudinales (medias en escala 1–5)

Dimensión / Ítem	Control media (DE)	Experimental media (DE)	p-valor
“El laboratorio me ayudó a comprender mejor la teoría del curso”	3,6 (0,9)	4,3 (0,7)	< 0,001
“Las actividades de laboratorio despertaron mi interés por el tema”	3,4 (1,0)	4,1 (0,8)	< 0,001
“Me siento preparado/a para aplicar estos conceptos en contextos prácticos”	3,2 (0,9)	3,9 (0,8)	< 0,001
“Considero que el formato de laboratorio fue adecuado para este curso”	3,5 (0,9)	4,2 (0,7)	< 0,001

Las puntuaciones fueron consistentemente mayores en el grupo que trabajó con laboratorio virtual, con diferencias significativas en todos los ítems y tamaños de efecto en el rango moderado. La mayoría de los estudiantes del grupo experimental valoró positivamente la posibilidad de repetir experimentos, visualizar mejor los fenómenos y experimentar con parámetros que serían difíciles o inseguros de manipular en el laboratorio físico.

En análisis correlacionales, las percepciones de utilidad del laboratorio y de preparación para aplicar los conceptos se asociaron de forma positiva con la ganancia conceptual ($r \approx 0,38$) y con la puntuación total en la rúbrica ($r \approx 0,41$) en el grupo experimental, lo que sugiere una relación coherente entre experiencia subjetiva y resultados de aprendizaje.

V. DISCUSIÓN

A. Síntesis de los hallazgos principales

Los resultados de este estudio indican que la incorporación de laboratorios virtuales en un curso básico de ingeniería se asoció con ganancias de aprendizaje superiores a las observadas en la modalidad tradicional, tanto en el plano conceptual como en el procedimental, junto con actitudes más favorables hacia la experiencia de laboratorio. En términos de logro conceptual, el grupo que trabajó con laboratorios virtuales alcanzó una ganancia normalizada sustancialmente mayor, incluso después de controlar el nivel inicial, lo que sugiere un efecto real de la modalidad sobre la comprensión de los contenidos. Las puntuaciones en la rúbrica de habilidades experimentales mostraron diferencias moderadas-altas a favor del laboratorio virtual, especialmente en análisis de datos e interpretación de resultados, y las percepciones estudiantiles reflejaron mayor utilidad percibida y mayor confianza para aplicar los conceptos en contextos prácticos.

En conjunto, estos hallazgos apuntan a que los laboratorios virtuales, cuando se diseñan y alinean cuidadosamente con los resultados de aprendizaje, no solo constituyen una alternativa viable ante limitaciones de infraestructura, sino que pueden funcionar como un potenciador del aprendizaje en los primeros cursos de ingeniería.

B. Coherencia con la evidencia reciente sobre laboratorios virtuales

Los resultados obtenidos se alinean con la evidencia de alto nivel publicada entre 2020 y 2025. El meta-análisis de Li [1] sobre la efectividad de los laboratorios virtuales en educación en ingeniería concluye que, en promedio, estos entornos tienen un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre el rendimiento académico, con tamaños de efecto moderados, especialmente cuando se integran en cursos con diseño instruccional cuidadoso. De forma similar, Muilwijk et al. [17] muestran, en un meta-análisis sobre investigación física vs. virtual, que las investigaciones virtuales producen logros conceptuales comparables o superiores a las experiencias físicas en muchos contextos STEM, siempre que la simulación esté bien alineada con los objetivos de aprendizaje.

Desde una perspectiva más amplia, la *scoping review* de Sellberg [7] sobre laboratorios virtuales en educación superior STEM destaca que la mayoría de los estudios empíricos reporta efectos positivos sobre la comprensión conceptual y la motivación, aunque con gran variabilidad según disciplina y diseño. Nuestro hallazgo de ganancias conceptuales mayores en la condición virtual es coherente con este panorama, y aporta evidencia específica para cursos básicos de ingeniería, un segmento que la propia revisión identifica como menos explorado que los cursos avanzados.

En cuanto a los resultados de aprendizaje en laboratorios en línea de ingeniería, la revisión de Dunmoye [11] sintetiza investigaciones sobre laboratorios online utilizando el marco KIPPAS y concluye que los resultados más evaluados son conocimiento conceptual y habilidades prácticas, mientras que dimensiones como indagación y profesionalismo suelen recibir menos atención. El presente estudio se suma a esta línea al mostrar que la modalidad virtual puede mejorar de manera apreciable las habilidades relacionadas con el análisis y la interpretación de datos, pero también confirma que la evaluación de resultados de indagación avanzada sigue siendo un reto metodológico.

Finalmente, revisiones de segundo orden como la de Fadda [18] evidencian que, en promedio, los laboratorios virtuales y remotos apoyan el aprendizaje en un grado comparable al de los laboratorios físicos, e incluso superior cuando se integran en diseños instruccionales estructurados y se acompañan de actividades de reflexión. El patrón observado en este estudio —donde los laboratorios virtuales se insertan en secuencias pre-laboratorio, experiencia y post-laboratorio bien definidas— es consistente con estas recomendaciones.

C. Posibles mecanismos: por qué los laboratorios virtuales favorecen el logro de resultados

Los efectos observados pueden interpretarse a la luz de varios mecanismos propuestos en la literatura reciente. En primer lugar, los laboratorios virtuales permiten visualizar fenómenos abstractos y complejos con un nivel de control difícil de replicar en entornos físicos, lo que facilita la construcción de modelos mentales más robustos. Scoping reviews sobre laboratorios virtuales y entornos inmersivos subrayan precisamente el papel de la visualización interactiva

en la mejora de la comprensión conceptual en campos como electrónica, mecánica o ciencias naturales.

En segundo lugar, la posibilidad de repetir experimentos, variar parámetros sin coste adicional y explorar escenarios de forma segura favorece el desarrollo de habilidades de análisis de datos e interpretación de resultados. Li [1] y otros autores señalan que el carácter repetible y controlado de los laboratorios virtuales contribuye a un trabajo más sistemático con los datos y a una reflexión más profunda sobre el error experimental, siempre que se acompañe de guías y rúbricas adecuadas. El hecho de que en nuestro estudio las diferencias más marcadas aparezcan en las dimensiones de análisis e interpretación de la rúbrica respalda esta hipótesis.

En tercer lugar, los resultados actitudinales sugieren que los laboratorios virtuales incrementan la percepción de utilidad y la confianza en el uso de herramientas tecnológicas, factores que la literatura relaciona con la persistencia y el éxito en programas de ingeniería. Estudios recientes sobre valor percibido de los laboratorios en ingeniería reportan que el estudiantado valora especialmente la flexibilidad, la posibilidad de acceder a experimentos fuera del horario habitual y la sensación de control sobre el proceso de aprendizaje que ofrecen estos entornos. La fuerte asociación observada entre participación en el laboratorio virtual, actitudes positivas y logro de resultados refuerza la idea de que estos entornos actúan tanto en la dimensión cognitiva como en la motivacional.

Finalmente, el vínculo entre participación intensiva en el entorno virtual y logros conceptuales y procedimentales es coherente con las recomendaciones de revisiones recientes que abogan por integrar laboratorios virtuales con analíticas de aprendizaje, de manera que el uso de la herramienta pueda monitorearse y retroalimentar decisiones pedagógicas.

D. Implicaciones para el diseño de laboratorios en cursos básicos de ingeniería

Los hallazgos tienen implicaciones directas para la enseñanza práctica en los primeros años de los programas de ingeniería. En primer lugar, sugieren que los laboratorios virtuales pueden funcionar como un componente estructural de los cursos básicos, no solo como recurso de emergencia o complemento ocasional. La combinación de mejores resultados conceptuales y procedimentales, junto con actitudes más positivas, justifica considerar su uso sistemático en contextos de alta matrícula, limitación de infraestructura o restricciones de acceso a equipamiento.

En segundo lugar, los resultados respaldan las propuestas de diseño que conciben los laboratorios virtuales como parte de una secuencia instruccional completa (pre-laboratorio, experiencia guiada y post-laboratorio reflexivo), en lugar de recursos aislados. Scoping reviews recientes enfatizan que los beneficios de los laboratorios virtuales se maximizan cuando se insertan en un marco pedagógico claro, con objetivos de aprendizaje explícitos y criterios de evaluación bien definidos.

En tercer lugar, los datos invitan a repensar el equilibrio entre laboratorios físicos y virtuales en los planes de estudio. Metaanálisis sobre VR y entornos inmersivos en educación

científica y de ingeniería muestran que estas tecnologías pueden mejorar significativamente habilidades prácticas concretas, siempre que los diseños no descuiden la transferencia a contextos físicos reales. Un modelo híbrido, donde los laboratorios virtuales se utilicen para la exploración segura y la consolidación conceptual, y los laboratorios físicos para el desarrollo de destrezas de manipulación y trabajo en equipo, podría ofrecer lo mejor de ambos mundos, especialmente en los primeros semestres.

Por último, los resultados refuerzan la necesidad de que los programas de ingeniería desarrollen capacidades institucionales para el diseño, mantenimiento y evaluación de laboratorios virtuales, incluyendo formación docente, soporte técnico y criterios de calidad específicos, como sugieren recientes revisiones sistémicas sobre el tema.

E. Limitaciones y líneas de trabajo futuro

Este estudio presenta limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, se realizó en un único curso básico de una sola institución, lo que reduce la generalización a otros contextos, disciplinas y niveles. Revisiones recientes sobre laboratorios virtuales subrayan la fuerte influencia del contexto y del diseño concreto de la intervención en los resultados obtenidos. En consecuencia, se requieren estudios multicurso y multiinstitución que evalúen la robustez de los efectos observados.

En segundo lugar, aunque se utilizaron instrumentos estructurados para medir rendimiento conceptual, habilidades procedimentales y actitudes, no se consideraron otras dimensiones relevantes como el desarrollo de competencias de trabajo en equipo, habilidades de comunicación científica o aspectos de equidad en el acceso y uso de la tecnología. Scoping reviews sobre resultados de aprendizaje en laboratorios en línea resaltan precisamente la necesidad de ampliar el foco más allá de los resultados cognitivos tradicionales.

En tercer lugar, el estudio se centró en una comparación de modalidad “virtual vs. tradicional” sin explorar variaciones internas en el diseño del laboratorio virtual (por ejemplo, grado de libertad del estudiante, nivel de inmersión, componentes de realidad virtual). Metaanálisis recientes sobre VR y herramientas inmersivas señalan que características específicas de diseño —como el tipo de interacción, la retroalimentación o el nivel de realismo— modulan de manera importante los efectos en habilidades y rendimiento.

A partir de estas limitaciones, futuras investigaciones podrían dirigirse a: (i) replicar y extender el estudio a otros cursos básicos y disciplinas de ingeniería; (ii) integrar diseños comparativos que analicen diferentes configuraciones de laboratorios virtuales (simulaciones 2D, entornos 3D, VR, laboratorios remotos) y su impacto relativo en distintas dimensiones de resultados; y (iii) combinar analíticas de aprendizaje con enfoques cualitativos para comprender mejor cómo los estudiantes interactúan con los laboratorios virtuales y qué estrategias de apoyo docente resultan más efectivas. Avanzar en estas líneas permitirá consolidar un cuerpo de

evidencia más fino y contextualizado sobre el papel de los laboratorios virtuales en la formación inicial de ingenieros.

VI. CONCLUSIONES

Este estudio tuvo como propósito analizar el impacto de los laboratorios virtuales en el logro de resultados de aprendizaje en un curso básico de ingeniería, comparando una cohorte que trabajó con laboratorios tradicionales con otra que utilizó laboratorios virtuales integrados en el LMS. Los resultados permiten afirmar que, lejos de ser solo una solución de contingencia o una alternativa “de segunda categoría”, los laboratorios virtuales pueden constituir un componente estratégico para potenciar el aprendizaje en los primeros años de la formación en ingeniería.

En relación con el logro conceptual, ambos grupos mejoraron entre el inicio y el final del curso, pero la ganancia normalizada fue claramente superior en el grupo que trabajó con laboratorios virtuales, incluso después de controlar el conocimiento previo. Esto indica que la posibilidad de manipular variables, visualizar fenómenos y repetir experimentos en un entorno seguro y controlado se tradujo en una comprensión más profunda de los conceptos centrales del curso.

En cuanto a las habilidades procedimentales y experimentales, las puntuaciones de la rúbrica aplicada a los informes de laboratorio mostraron diferencias sistemáticas a favor del grupo experimental. Los estudiantes que utilizaron laboratorios virtuales obtuvieron mejores resultados en el diseño y planificación de procedimientos, en el registro y tratamiento de datos y, especialmente, en el análisis e interpretación de resultados. Estos hallazgos sugieren que el entorno virtual no solo facilita “ver” los fenómenos, sino también trabajar con datos y argumentar a partir de evidencia, competencias clave en la formación de ingenieros.

En la dimensión actitudinal, el estudiantado del grupo virtual reportó una mayor percepción de utilidad del laboratorio para entender la teoría, un mayor interés por la experimentación y una mayor confianza para aplicar los conceptos en contextos prácticos. Aunque muchos estudiantes expresaron una preferencia por modelos híbridos que combinen prácticas reales y virtuales, la valoración global de la experiencia virtual fue claramente positiva, lo que respalda su legitimidad pedagógica como parte de la oferta regular de laboratorios.

En conjunto, estos resultados contribuyen con evidencia empírica a favor de la integración de laboratorios virtuales en cursos básicos de ingeniería, demostrando que, cuando se diseñan de forma alineada con los resultados de aprendizaje y se insertan en secuencias estructuradas de pre-laboratorio, experiencia guiada y post-laboratorio reflexivo, pueden mejorar simultáneamente el rendimiento conceptual, el desempeño experimental y las actitudes hacia la experimentación.

No obstante, las conclusiones deben leerse a la luz de las limitaciones del estudio: se trabajó en un solo curso y en una

sola institución, se evaluaron principalmente resultados cognitivos y procedimentales, y no se analizaron efectos a largo plazo ni diferentes variantes de diseño de laboratorio virtual. En este sentido, se abren varias líneas de trabajo futuro: (i) replicar y extender el enfoque a otros cursos y disciplinas de la ingeniería; (ii) incorporar de manera sistemática resultados de indagación, trabajo en equipo y competencias profesionales; y (iii) explorar modelos híbridos y variantes de diseño (por ejemplo, mayor inmersión, gamificación, integración con analíticas de aprendizaje) para identificar qué configuraciones maximizan el impacto en distintos perfiles de estudiantes.

Avanzar en estas direcciones permitirá pasar de experiencias puntuales a estrategias curriculares sólidas y basadas en evidencia, en las que los laboratorios virtuales se reconozcan no solo como un recurso tecnológico, sino como una pieza central en la arquitectura pedagógica de la educación en ingeniería del siglo XXI.

REFERENCIAS

- [1] J. Li y W. Liang, «Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis», *PLoS ONE*, vol. 19, n.º 12, p. e0316269, dic. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0316269.
- [2] H. Hanine, N. Farajy, y A. Moumen, «Virtual Laboratories in STEM Education: A Scoping Literature Review on E-Learning Innovation», en *ICATH 2025*, MDPI, oct. 2025, p. 17. doi: 10.3390/engproc2025112017.
- [3] M. N. A. Wahyudi, C. W. Budiyo, I. Widiastuti, P. Hatta, y Mohd. S. B. Bakar, «Understanding Virtual Laboratories in Engineering Education: A Systematic Literature Review», *International Journal of Pedagogy and Teacher Education*, vol. 7, n.º 2, p. 102, jul. 2024, doi: 10.20961/ijpte.v7i2.85271.
- [4] M. Kurtz, A. Benabbou, C. Pons, y J. Broisin, «Collaboration in virtual and remote laboratories for education: A systematic literature review», *Intern. J. Comput.-Support. Collab. Learn.*, vol. 20, n.º 4, pp. 549-603, dic. 2025, doi: 10.1007/s11412-025-09454-7.
- [5] G. Lampropoulos, P. Fernández-Arias, A. De Bosque, y D. Vergara, «Virtual Reality in Engineering Education: A Scoping Review», *Education Sciences*, vol. 15, n.º 8, p. 1027, ago. 2025, doi: 10.3390/educsci15081027.
- [6] W. Terkaj, K. Kleine, y V. Kuts, «Virtual labs for higher education in industrial engineering», *PEAS*, vol. 73, n.º 2, pp. 142-149, abr. 2024, doi: 10.3176/proc.2024.2.07.
- [7] C. Sellberg, Z. Nazari, y M. Solberg, «Virtual Laboratories in STEM Higher Education: A Scoping Review», *NJSRE*, vol. 2, mar. 2024, doi: 10.23865/njsre.v2.5766.
- [8] R. Govender, «Teaching and learning using virtual labs: Investigating the effects on students' self-regulation», *Cogent Education*, vol. 10, n.º 1, p. 2172308, dic. 2023, doi: 10.1080/2331186X.2023.2172308.
- [9] C. Tokatlidis, S. Tselegkaridis, S. Rapti, T. Sapounidis, y D. Papakostas, «Hands-On and Virtual Laboratories in Electronic Circuits Learning—Knowledge and Skills Acquisition», *Information*, vol. 15, n.º 11, p. 672, oct. 2024, doi: 10.3390/info15110672.
- [10] D. Vergara, P. Fernández-Arias, J. Extremera, L. P. Dávila, y M. P. Rubio, «Educational trends post COVID-19 in engineering: Virtual laboratories», *Materials Today: Proceedings*, vol. 49, pp. 155-160, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.494.
- [11] I. Dunmoye, D. Moyaki, A. Oje, N. Hunsu, y D. May, «A Scoping Review of Online Laboratory Learning Outcomes in Engineering Education Research», en *2023 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, Baltimore, Maryland: ASEE Conferences, jun. 2023, p. 42499. doi: 10.18260/1-2-42499.
- [12] K. A. Miller, J. Marra, y S. N. Carter, «Impact of Laboratory Exercises on Undergraduate Learning Outcomes in Online STEM General

Education Courses Among Working Adult and Returning Students», *OLJ*, vol. 29, n.º 2, abr. 2025, doi: 10.24059/olj.v29i2.4470.

- [13] L. Y. Tan, S. Hu, D. J. Yeo, and K. H. Cheong, "Artificial intelligence-enabled adaptive learning platforms: A review," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 8, Art. no. 100429, 2025, doi: 10.1016/j.caeai.2025.100429.
- [14] C. Liu, "A comprehensive review of applications of AI technologies in higher engineering education," *Discover Education*, vol. 4, Art. no. 528, 2025, doi: 10.1007/s44217-025-00954-0.
- [15] M. S. Hasan, A. Ahmed, N. Rasool, M. N. Naher, X. Zeng, and F. A. Pirzado, "The Adaptive Lab Mentor (ALM): An AI-Driven IoT Framework for Real-Time Personalized Guidance in Hands-On Engineering Education," *Sensors*, vol. 25, no. 24, p. 7688, 2025, doi: 10.3390/s25247688.
- [16] M. Cukurova, "The interplay of learning, analytics and artificial intelligence in education: A vision for hybrid intelligence," *British Journal of Educational Technology*, vol. 56, no. 2, pp. 469–488, 2025, doi: 10.1111/bjet.13514.
- [17] S. E. Muilwijk and A. W. Lazonder, "Learning from physical and virtual investigation: A meta-analysis of conceptual knowledge acquisition," *Frontiers in Education*, vol. 8, Art. no. 1163024, Mar. 2023, doi: 10.3389/educ.2023.1163024.
- [18] D. Fadda, C. Salis, and G. Vivanet, "About the efficacy of virtual and remote laboratories in STEM education in secondary school: A second-order systematic review," *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies*, no. 26, p. 2, Dec. 2022, doi: 10.7358/ecps-2022-026-fadd.