

Realidad aumentada en la enseñanza de la instrumentación en materias STEM: aprendizaje inmersivo mediante PEARL en educación superior

Augmented reality in teaching instrumentation in STEM subjects: immersive learning through PEARL in higher education

Ginés Morales-Méndez
Universidad de Murcia. Murcia, España
gines.morales@um.es

Ana Belén Lozano-Avilés
Universidad de Murcia. Murcia, España
ala71225@um.es

Jesús Robles-Robles
Universidad de Murcia. Murcia, España
jrr15093@um.es

...

Resumen

La comprensión y el manejo de la instrumentación es una habilidad fundamental para los estudiantes, especialmente en los campos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). No obstante, el acceso restringido a laboratorios, la complejidad en el manejo de equipos reales y la exigencia de una supervisión experta presentan obstáculos considerables para un aprendizaje seguro y efectivo. En este marco, PEARL (Paderborner Elektrotechnik Augmented Reality Labor) emerge como una aplicación formativa innovadora que utiliza la realidad aumentada (RA). Esta plataforma permite a los usuarios interactuar de manera inmersiva con herramientas como osciloscopios, generadores de funciones, y multímetros, enriqueciendo los ambientes físicos con información aumentada para simular operaciones y procedimientos en tiempo real. Este estudio analiza su impacto en el aprendizaje a través de un enfoque cuasi-experimental que incluye grupos de control y experimental. Los resultados muestran mejoras significativas en el rendimiento técnico y en la autoconfianza del grupo que utilizó RA, así como una valoración alta en términos de uso y experiencia de uso. Estos hallazgos refuerzan la efectividad de PEARL como recurso para la enseñanza de la instrumentación electrónica en educación superior, ayudando a mitigar las limitaciones de los laboratorios tradicionales y promoviendo metodologías de aprendizaje activas, accesibles y seguras.

Palabras clave: realidad aumentada, educación STEM, instrumentación electrónica, aprendizaje inmersivo, laboratorios virtuales.

Abstract

The ability to comprehend and competently utilise instrumentation constitutes a foundational skill for students, particularly within the disciplines of science, technology, engineering, and mathematics (STEM). Nevertheless, restricted access to laboratories, the complexity of handling real equipment, and the need for expert supervision present considerable obstacles to safe and effective learning. In this context, PEARL (Paderborner Elektrotechnik Augmented Reality Labor) emerges as an innovative educational application that uses augmented reality (AR). This platform facilitates immersive interaction with tools such as oscilloscopes, function generators, and multimeters, thereby augmenting physical environments with additional information to simulate operations and procedures in real time. The present study employs a quasi-experimental approach, incorporating both control

and experimental groups, in order to analyse the impact of the phenomenon under investigation on learning. The findings indicate substantial enhancements in technical proficiency and self-assurance among the cohort that utilised AR, along with elevated ratings concerning usability and user experience. These findings serve to reinforce the effectiveness of PEARL as a resource for the teaching of electronic instrumentation in higher education, helping to mitigate the limitations of traditional laboratories and promoting active, accessible, and safe learning methodologies.

Key words: augmented reality, STEM education, electronic instrumentation, immersive learning, virtual laboratories.

1. Introducción

Un eje que resulta ser fundamental en la enseñanza universitaria consiste en el desarrollo de competencias prácticas en los títulos del área de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), para lo cual, es muy importante en aquellas asignaturas en las que es necesario tener una manipulación y una comprensión de equipos de instrumentación electrónica. Nos referimos a los equipos que se consideran fundamentales para la adquisición de destrezas sobre la medición, el análisis y la interpretación de señales eléctricas y electrónicas, así como en temas relacionados con el montaje y verificación de los circuitos, por ejemplo: osciloscopios, generadores de funciones, multímetros y protoboards (Nursita & Hadi, 2021; Kanivets et al., 2022). No obstante, a pesar de su importancia académica, la enseñanza de las prácticas sobre instrumentación electrónica presenta notables limitaciones estructurales, logísticas, y pedagógicas.

En primer lugar, el acceso a laboratorios físicos suele estar limitado por la cantidad de recursos de materiales, el coste de mantenimiento que requieren, así como por la necesidad de supervisión especializada, lo que va en detrimento del número de horas prácticas por estudiante (Sandoval-Pérez et al., 2022; Singh & Ahmad, 2024). También se presentan limitaciones en lo referente a la elevada demanda existente por el equipamiento, peligros derivados a la incorrecta manipulación y la imposibilidad de repetir las experiencias de manera ilimitada en el espacio fuera del laboratorio (Meskhi et al., 2019; Pordanjani & Salehi, 2025). Todos estos aspectos hacen que gran parte de la población estudiantil no alcance el mínimo nivel de dominio instrumental al término de la docencia de los cursos.

Desde esta perspectiva, las tecnologías inmersivas, con especial énfasis en la realidad aumentada (RA), han irrumpido como una herramienta con un alto potencial de adaptación de la enseñanza técnica en la educación superior (Cheng & Tsai, 2013; Akçayır & Akçayır, 2017; Yoon et al., 2017): la RA permite la superposición de elementos virtuales interactivos sobre el entorno físico en tiempo real creando, así, un entorno híbrido en el que poder manipular o visualizar objetos o fenómenos que, en un laboratorio tradicional, estarían restringidos por cuestiones de seguridad, coste o disponibilidad (Bacca et al., 2014; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). En este sentido, la RA no solo incrementa la accesibilidad a experiencias prácticas, sino que también potencia el aprendizaje activo, la autoeficacia y la motivación del alumnado (Garzón et al., 2019; Al-Ansi et al., 2023).

Los beneficios de la RA en la enseñanza STEM se han demostrado en numerosos estudios, en los que se han identificado mejoras en el rendimiento y la retención del

aprendizaje, además de relacionarse con el desarrollo de habilidades procedimentales (Di Serio et al., 2013; del Cerro & Morales, 2021; Tene et al., 2024). En el ámbito de la instrumentación electrónica, estudios como Augmented Reality for Electronics Learning (AUREL) han demostrado que el uso de modelos de dispositivos virtuales, seguido del uso de guías contextuales aumentadas, permite al alumnado aprender y aplicar conceptos complejos más rápidamente y con mayor precisión (Ang & Lim, 2019). Por otro lado, gran parte de las implementaciones anteriores presentan limitaciones de tipo técnico asociadas a la propia dependencia de marcadores (marker-based), a la poca naturalidad de la interacción o a la escasa integración de sistemas de evaluación automática.

Para paliar estas limitaciones, Paderborner Elektrotechnik AR Labor (PEARL) se propone como una solución educativa de RA para visores autónomos como Meta Quest 3, permitiendo la interacción directa (gestual) con instrumentación electrónica simulada sin usar marcadores, con retroalimentación inmediata y con evaluaciones integradas. Este espacio formativo incluye módulos completos de osciloscopio, generador de funciones, multímetro y protoboard, haciendo posibles por tanto prácticas inmersivas que reproducen de forma realista las prácticas realizadas en un laboratorio físico, de forma visual, interactiva, técnica y funcional.

El presente estudio tiene como finalidad la evaluación del efecto de PEARL sobre el rendimiento técnico, la autoeficacia y la motivación de estudiantes universitarios en asignaturas de electrónica básica. Para ello se diseña un estudio cuasi-experimental mediante dos grupos no equivalentes (experimental y control) aplicando medidas pretest y postest. Se formulan dos hipótesis de trabajo:

H₁: El grupo experimental que utilice PEARL obtendrá mejoras estadísticamente significativas en la adquisición de conocimientos técnicos en comparación con el grupo control.

H₂: El uso de PEARL aumentará la autoeficacia percibida y la motivación hacia el aprendizaje práctico de la instrumentación electrónica.

La validación empírica de esta propuesta supone una evidencia científica sobre el potencial de la RA como herramienta formativa en educación técnica superior, además de contribuir a basar orientaciones para su integración pedagógica dentro de los planes de estudios STEM, con el fin de mejorar la calidad, la accesibilidad y la eficacia del aprendizaje en entornos técnicos.

2. Marco teórico y estado del arte

2.1. Realidad aumentada en educación

La tecnología de realidad aumentada (RA) se describe como una técnica para ampliar el entorno físico del usuario mediante la superposición de contenido digital en tiempo real, como modelos tridimensionales, imágenes, datos o audio (Azuma, 1997; Carmignani & Furht, 2011). Por otra parte, la realidad virtual (RV) sustituye al mundo físico por otro completamente digital, mientras que la RA tiene el mundo físico como referente y lo enriquece con información digital, lo que la hace especialmente útil para contextos educativos en los que se produce una interacción con la realidad física (Wu et al., 2013; Yoon et al., 2017).

Los avances tecnológicos en visión artificial, en sensores de profundidad o en procesamiento gráfico han dado lugar al desarrollo de plataformas educativas de RA. Las primeras implementaciones se centraron principalmente en ordenadores personales (PC) y cámaras web, que incorporaban sistemas de seguimiento basados en marcadores (Billinghurst & Kato, 2002; Pérez-López & Contero, 2013). En la actualidad se utilizan sistemas de seguimiento sin marcadores en dispositivos móviles y visores autónomos, como Meta Quest 3, que incorporan el seguimiento de gestos sin necesidad de equipos adicionales (Syberfeldt et al., 2017; Morales & del Cerro, 2025).

La evidencia documentada en la literatura especializada muestra que la RA produce un elevado impacto positivo en la educación, especialmente en los aprendizajes técnicos, con una gran carga visual y con alta complejidad procedural. Diversos trabajos han evidenciado que su uso fomenta el aumento de la motivación intrínseca y extrínseca del alumnado proporcionando experiencias de aprendizaje más inmersivas, interactivas y contextualizadas, favoreciendo el interés sostenido por los contenidos (Radu, 2014; Palacios-Rodríguez et al., 2024; Bautista et al., 2025). Este aumento en la motivación podría ser también un efecto de una mayor predisposición para afrontar tareas complejas, así como también la mejora de la perseverancia ante retos técnicos.

A su vez, la RA desarrolla la retención y la transferencia del conocimiento a partir de la capacidad de consolidar a medio y largo plazo la información aprendida y la de aplicarla en otros escenarios, problemas o retos, como por ejemplo el desarrollo de habilidades visuoespaciales, entre otros. Por citar los casos de Cheng & Tsai (2013) e Ibáñez et al. (2014) constatan que la manipulación de representaciones virtuales incrustadas en un espacio físico, junto con la observación de fenómenos dinámicos que ocurren en tiempo real, favorecen una codificación de la información y su posterior recuperación. El mismo beneficio también se ha indicado en trabajos como Morales-Méndez y Lozano-Avilés (2025), donde el uso de RA en la enseñanza de la geometría volumétrica resulta en una mejora significativa de la inteligencia espacial del alumnado, pues las tecnologías que integran representación espacial permiten fomentar habilidades cognitivas que se pueden transferir a las diferentes disciplinas STEM.

En el contexto de las competencias procedimentales, la RA permite simular operaciones técnicas con un alto nivel de fidelidad visual y funcional, facilitando la adquisición de destrezas operativas en un contexto seguro antes de pasar a la manipulación de equipos reales (Martín-Gutiérrez et al., 2010; Fonseca et al., 2015; Del-Moral-Pérez et al., 2025). Un ejemplo de ello es el trabajo de Chaljub-Hasbún et al. (2025), donde se valora el uso de un recurso de RV orientado a la enseñanza del osciloscopio, señalando mejoras en la comprensión de las funciones que posee y la confianza del alumnado para utilizarlo de forma autónoma.

Finalmente, la RA se puede caracterizar por integrar mecanismos de retroalimentación inmediata y por permitir una repetición ilimitada de las actividades, sin costes ni restricciones logísticas, promoviendo así de forma directa el aprendizaje autónomo y autorregulado (Akçayır & Akçayır, 2017; Garzón et al., 2019). Estos atributos son muy relevantes en la formación de las disciplinas STEM, donde la práctica de la resolución de problemas de forma autónoma, la gestión del tiempo y la autoevaluación se entienden como competencias clave para el ejercicio profesional en entornos altamente especializados.

2.2. Aplicaciones de RA en enseñanza STEM

La RA tiene un alto potencial en la enseñanza de las áreas de conocimiento STEM, ya que la integración de los contenidos teóricos con los prácticos puede llevarse a cabo en el mismo entorno de aprendizaje (Bacca et al., 2014; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). El hecho de que la RA puede representar visualmente fenómenos abstractos o invisibles al ojo humano en forma de representaciones observables, tales como los campos electromagnéticos o la propagación de señales, ayuda a romper las barreras cognitivas que frecuentemente se dan en la enseñanza técnica (Salmi et al., 2017; Garzón et al., 2019).

En las áreas de ingeniería eléctrica y electrónica se han desarrollado recursos como AUREL, una herramienta que incorpora esquemas y componentes virtuales sobre un banco real de trabajo como apoyo para el montaje de circuitos (Ang & Lim, 2019); simuladores de multímetros que emulan realizar mediciones virtuales junto con instrucciones sobre su funcionamiento real (Nursita & Hadi, 2021) o simuladores de oscilloscopios que realizan mediciones sin correr el riesgo de dañar el equipo (Singh & Ahmad, 2024).

Los resultados de la revisión de Garzón et al. (2019) recogen que este tipo de soluciones implican una mayor comprensión de los conceptos, menos errores de procedimiento y un aumento de la autonomía del estudiante; sin embargo, continúan existiendo limitaciones como, por ejemplo, la falta de interacción mediante gestos de una forma natural, la necesidad de usar hardware específico o que no haya sistemas de evaluación específicos (Bacca et al., 2014; Ibáñez et al., 2018).

2.3. Casos de RA en instrumentación electrónica

La instrumentación electrónica presenta habilidades procedimentales complejas como la configuración de los equipos, la comprensión de las mediciones o la detección de errores de conexión, es por ello que esa área se considera adecuada para aplicar RA. Gutiérrez & Fernández (2014) mostraron que el uso de oscilloscopios aumentados favorece la comprensión de las funciones más avanzadas y la transferencia de competencias a los entornos físicos.

De forma similar, la RA ha evidenciado sus beneficios en el prototipado electrónico, donde disminuye la posibilidad de cometer errores en el cableado debido a proyecciones aumentadas de las conexiones y componentes (Fonseca et al., 2015; Alptekin & Temmen, 2018), así como en el proceso de soldadura mediante entornos aumentados que permiten un entrenamiento seguro antes de la manipulación real (Yunus et al., 2025).

En este sentido, el PEARL, desarrollado por la Universidad de Paderborn, con apoyo de la Fundación para la Innovación en la Enseñanza Universitaria, y mediante ingenieros en desarrollo de software, desarrolladores y expertos en didáctica, es un claro ejemplo. PEARL se caracteriza porque está basado en la interacción gestual natural sin mandos físicos, el funcionamiento completamente markerless, los múltiples módulos implicados (osciloscopio, generador de funciones, multímetro y protoboard) y el hecho de incluir un sistema de evaluación que se retroalimenta constantemente.

Como recoge la Tabla 1, la comparación con otros sistemas que se documentan en la literatura nos muestra que PEARL es el único que une control gestual natural, independencia de marcadores, alta fidelidad visual y funcional, y múltiples módulos en el mismo visor, que a su vez refuerza el potencial como herramienta formativa en educación superior en instrumentación electrónica.

Tabla 1.

Comparativa técnica de sistemas para instrumentación electrónica basados en RA.

Software	Tipo de interacción	Necesidad de marcadores	Dispositivo principal	Evaluación integrada	Fidelidad visual	Fidelidad funcional	Módulos disponibles
AUREL (Ang & Lim., 2019)	Mandos y gestual limitada	Sí, marker-based	PC + cámara externa	No	Alta	Media	Osciloscopio básico, multímetro virtual
Simulador multímetro RA (Alan, 2022)	Pantalla táctil + RA móvil	No, markerless	Tablet/ smartphone	Parcial	Media	Alta	Multímetro
Osciloscopio RA (Singh & Ahmad, 2024)	Mandos físicos	No, markerless	Visor RA semiautónomo	No	Alta	Alta	Osciloscopio digital
Entorno de prototipado RA (Alptekin & Temmen, 2018)	Gestual con guantes hápticos	Sí, marker-based	PC + cámara + guantes hápticos	Parcial	Alta	Alta	Protoboard, componentes discretos
PEARL (Universidad de Paderborn, 2025)	Gestual directa con manos	No, markerless	Visor autónomo Meta Quest 3	Sí	Muy alta	Muy alta	Osciloscopio, generador de funciones, multímetro, protoboard con componentes virtuales

2.4. Casos de RA en instrumentación electrónica

La RA como recurso de enseñanza en contextos formativos, se fundamenta en teorías conocidas por la investigación en educación. En la forma constructivista de concebir la educación desde el punto de vista de Zajda (2021), el conocimiento no se transmite pasivamente, sino que se construye mientras se desarrolla la interacción con el entorno; ello supone que los conocimientos complejos se asimilan desde experiencias prácticas y manipulativas. En relación a este contexto, se asocia con la teoría del aprendizaje situado de Lave & Wenger (2001), que hace hincapié en el carácter de contextos significativos en el aprendizaje de las habilidades; y el modelo de aprendizaje experiencial de Kolb (2013), que establece un ciclo integrado de experiencia, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa como fundamento del aprendizaje significativo.

En el uso de la instrumentación electrónica la RA permite la aplicación de estrategias como el aprendizaje multimedia por descubrimiento guiado (De Jong & Lazonder, 2005) que motiva la exploración autónoma pero dentro del marco de un contexto de apoyo, y el aprendizaje basado en problemas (Hmelo-Silver, 2004), que pone a los estudiantes ante retos técnicos para que los resuelvan de forma creativa. La RA permite sobreponer información contextual y procesos interactivos sobre ambientes físicos, esto proporciona al alumnado la posibilidad de manejar, por ejemplo, de forma virtual, un osciloscopio, un generador de funciones, etc. mientras recibe retroalimentación de manera instantánea,

pudiendo incluso repetir la práctica sin la limitación temporal o logística de un laboratorio físico; este modo de interacción favorece el aprendizaje autorregulado (Zimmerman, 2002), y el aprendizaje a partir del error (Keith & Frese, 2005), dado que los errores se convierten en mejoras, pero sin las consecuencias sobre un equipo físico real. Estas características son especialmente importantes en áreas que requieren tener competencias técnicas altamente precisas, donde la práctica es determinante para realizar un buen desempeño en la tarea.

La creciente evidencia empírica apoya que la RA, siempre contextualizada en un diseño metodológico acorde al plan de estudios, apoyada con tecnologías inmersivas avanzadas como PEARL, no sólo desarrolla el rendimiento académico y la motivación intrínseca (Di Serio et al., 2013; Garzón et al., 2019; Tene et al., 2024) sino que también favorece la retención a largo plazo y la transferencia de los conocimientos generales aprendidos a situaciones futuras. La RA se convierte así en una estrategia para mejorar los niveles de calidad y durabilidad del aprendizaje en campos de especialización técnica, sobre todo en disciplinas STEM que requieren la integración simultánea de conocimientos teóricos y habilidades en forma de procedimiento.

3. Diseño y arquitectura de PEARL

PEARL es una aplicación de RA desarrollada para visores autónomos como Meta Quest 3 con la finalidad de optimizar la enseñanza y el aprendizaje de la instrumentación electrónica en niveles de educación superior, particularmente en los grados vinculados a la ingeniería y la ciencia. De acuerdo con Azuma (1997) y con Bacca et al. (2014), la RA en los contextos formativos sirve para combatir las limitaciones de los laboratorios físicos, como el acceso restringido a los equipos, los elevados costes de mantenimiento o incluso la necesidad de personal docente que supervise la tarea. Asimismo, estudios de Ibáñez & Delgado-Kloos (2018) y Estrada et al. (2022) indican que este tipo de tecnologías favorecen la reducción de riesgos asociados a las manipulaciones reales de equipos en los laboratorios. En este punto, cabe destacar que ejecutando PEARL en visores como los Meta Quest 3 (Figura 1), los usuarios pueden interactuar con laboratorios aumentados en los que se sobreponen elementos virtuales que simulan los dispositivos electrónicos, lo que permite realizar una interacción de una forma eficaz empleando espacios físicos y virtuales (López et al., 2024).

Figura 1.

Usuario interactuando con PEARL en un laboratorio aumentado a través de Meta Quest 3 y elementos virtuales superpuestos.

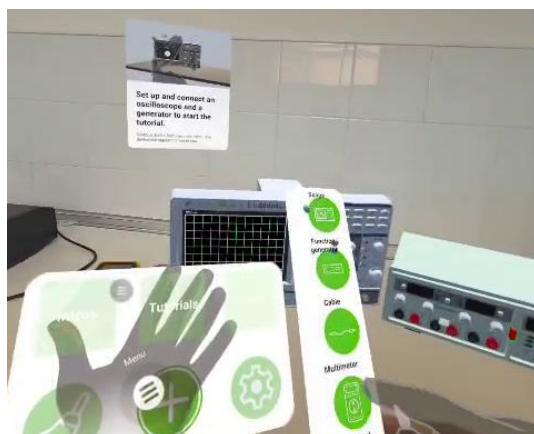


Fuente. Elaboración propia.

El diseño funcional de PEARL genera un entorno de laboratorio aumentado con una alta fidelidad donde el alumnado puede interactuar con instrumentos clave como osciloscopios, generadores de funciones, multímetros digitales y protoboards. Cada elemento ha sido modelado en 3D con un elevado nivel de precisión geométrica y con una simulación física que resulta coherente a la real, logrando una reproducción fidedigna del comportamiento real de los equipos. La tecnología de hand tracking da la posibilidad de manipular los instrumentos mediante las manos y los dedos, logrando así que las intervenciones resultan naturales, como por ejemplo pulsar o girar botones, ajustar controles o mover o redimensionar los dispositivos libremente en el espacio aumentado. Tal como afirman Singh & Ahmad (2024), esta alternativa permite prescindir de controladores físicos y promueve formas intuitivas y ergonómicas de interacción. Asimismo, investigaciones como las de Salmi et al. (2017) o Estrada et al. (2022) corroboran que esta alternativa fomenta la inmersión y la transferencia de habilidades prácticas a situaciones reales, siendo esto una característica muy necesaria en la formación de ingenieros y científicos, como ya predijeron Mekni & Lemieux (2014). La Figura 2 representa la interfaz inicial del módulo de iniciación, que ha sido diseñada siguiendo los patrones de uso que Nielsen (1994) establece, con el objetivo de mejorar la navegación y reducir la carga cognitiva en el proceso inicial del aprendizaje.

Figura 2.

Interfaz de inicio de PEARL para la selección de módulos de instrumentación electrónica.

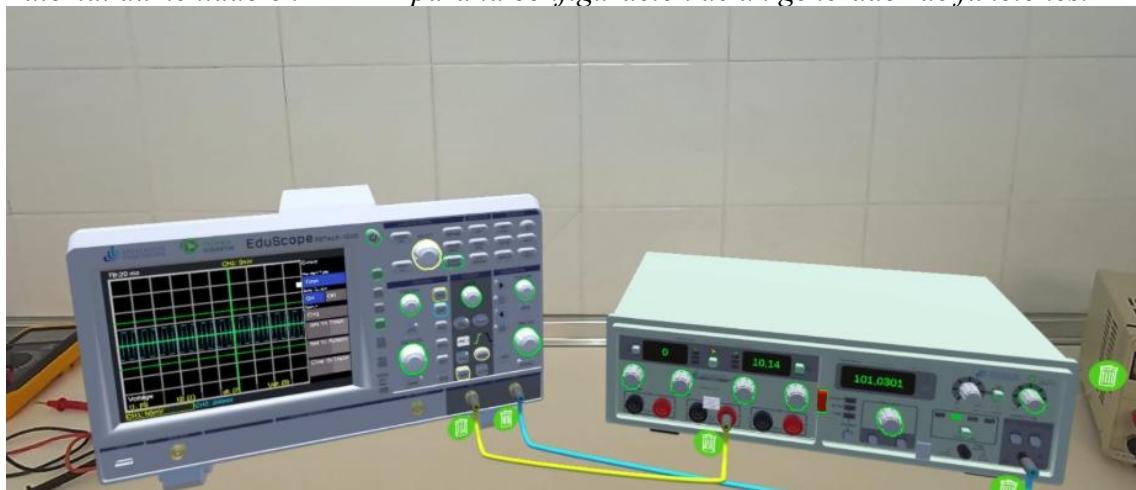


Fuente. Elaboración propia.

En lo que respecta a la arquitectura técnica, PEARL proporciona un entorno inmersivo con un alto rendimiento dado el conjunto de capacidades gráficas que Meta Quest 3 puede ofrecer y una interacción fluida incluso en contextos de alta carga gráfica. El renderizado estereoscópico, por ejemplo, permite frecuencias superiores a 72 Hz, que tal y como indican Salmi et al. (2017) y Estrada et al. (2022), desempeñan un rol importante en la disminución de la fatiga visual, que se traduce en una menor sensación de mareo cibernetico, haciendo factibles usos más prolongados sin perjudicar a la experiencia del aprendizaje. La Figura 3 muestra este potencial técnico a partir de un tutorial aumentado para la configuración de un generador de funciones, el cual guía al alumnado paso a paso en el proceso a la hora de configurar los parámetros, siguiendo las indicaciones de Akçayır y Akçayır (2017) sobre el valor de la instrucción guiada en los contextos de RA.

Figura 3.

Tutorial aumentado en PEARL para la configuración de un generador de funciones.



Fuente. Elaboración propia.

En cuanto a la gestión de la evaluación, PEARL integra una base de datos interna que almacena de forma local el número de errores y aciertos obtenidos por el usuario durante la ejecución de las prácticas. Los tiempos de ejecución y las rutas de interacción no se registran en dicha base de datos, sino que son obtenidos mediante los sistemas de telemetría y captura de movimiento integrados en la API de Oculus Insight y en el Meta Interaction SDK (Boulo et al., 2024), que permiten medir con precisión la secuencia de acciones, la duración de cada tarea y los patrones espaciales de manipulación para su posterior análisis con software estadístico.

4. Metodología

El presente estudio adopta un diseño cuasi-experimental con grupos no equivalentes, estructurado bajo un esquema de medición pretest–posttest para evaluar el impacto del uso de PEARL en el aprendizaje de la instrumentación electrónica. La muestra fue de 40 estudiantes matriculados en la asignatura de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Grado en Ingeniería Química de la Universidad de Murcia, los cuales se agruparon en dos grupos-clase que, conforme a la programación académica, ya habían sido predefinidos para la realización de las prácticas: un grupo experimental (GE) con $n = 20$ y un grupo de control (GC) con $n = 20$. Ninguno de los participantes había tenido experiencia previa en el manejo de equipos de laboratorio como osciloscopios o generadores de funciones, lo que permitió establecer un punto de partida homogéneo. Se trabajó con dos grupos-clase intactos, preasignados por Secretaría en franjas horarias distintas, la condición (GE/GC) se determinó por criterios logísticos (disponibilidad de laboratorio y calendario), sin aleatorización, manteniendo el mismo docente, programa, carga temporal, espacios y laboratorios equivalentes.

La intervención se desarrolló a lo largo de cuatro sesiones consecutivas de una hora cada una. En la primera mitad de la primera sesión se realizó el pretest, que incluyó una prueba de conocimientos técnicos y escalas psicométricas para evaluar la autoeficacia y la motivación hacia el aprendizaje práctico. Desde la segunda mitad de la primera sesión, hasta la tercera sesión constituyeron la fase de intervención: el GE utilizó PEARL

mediante visores autónomos Meta Quest 3 en un entorno de RA completamente markerless, mientras que el GC realizó prácticas equivalentes en un laboratorio físico tradicional con el mismo equipamiento real. En ambas condiciones, las actividades estuvieron alineadas con los objetivos curriculares y fueron supervisadas por el mismo docente para garantizar la uniformidad en las instrucciones. La cuarta sesión estuvo dedicada a la realización del postest y de los cuestionarios finales. La recogida de datos se llevó a cabo mediante tres instrumentos principales.

En primer lugar, una prueba de conocimientos técnicos en instrumentación electrónica (PCT-IE) (Apéndice I), diseñada para evaluar el dominio conceptual y procedimental en el uso de osciloscopios, generadores de funciones, multímetros y protoboards en estudiantes universitarios de titulaciones STEM. El instrumento consta de 20 ítems de opción múltiple con cuatro alternativas de respuesta (a-d), de las cuales solo una es correcta, e incluye tanto cuestiones teóricas como problemas prácticos. La validez de contenido se estableció mediante el juicio de tres docentes de ingeniería eléctrica y electrónica, mientras que la consistencia interna, calculada mediante α de Cronbach en un piloto previo, fue de 0,87, lo que indica una alta fiabilidad. Este valor procede de un piloto independiente con estudiantes del mismo contexto curricular, administrado de forma colectiva la semana previa a la intervención, en él se verificó la claridad de los ítems y se ajustaron redacciones menores cuando fue necesario.

En segundo lugar, se diseñó una escala autoeficacia en instrumentación electrónica (EAIE) (Apéndice II) constituida por 12 ítems tipo Likert de 5 puntos (1 = muy en desacuerdo; 5 = muy de acuerdo) centrada en conocer la percepción de competencia del alumnado en el manejo de los equipos de instrumentación electrónica, su capacidad en la interpretación de las mediciones y la resolución de incidencias técnicas. Los ítems fueron elaborados a partir de una revisión de la literatura sobre autoeficacia (Pajares, 1996; Bandura, 2006), adaptados a entornos de aprendizaje STEM y concretamente al contexto de la instrumentación electrónica. La validez de contenido fue establecida mediante juicio de expertos ($n = 3$) y la consistencia interna obtenida en un estudio piloto alcanzó un α de Cronbach de 0,84, lo que refleja una fiabilidad alta.

Por último, se aplicó una escala de motivación hacia el aprendizaje práctico en instrumentación electrónica (EMAP-IE) (Apéndice III), integrada por 10 ítems en formato Likert de 5 puntos (1 = muy en desacuerdo; 5 = muy de acuerdo), diseñada para medir el interés, la implicación y la disposición del alumnado hacia las prácticas de laboratorio en instrumentación electrónica. Su diseño se fundamentó en el modelo de motivación de Keller (2009) (ARCS: Atención, Relevancia, Confianza y Satisfacción) y en estudios previos sobre motivación en entornos de educación STEM con tecnologías inmersivas (Di Serio et al., 2013; Garzón et al., 2019). La validez de contenido fue verificada por un panel de tres expertos en didáctica de la ingeniería y la tecnología, y su consistencia interna fue de 0,82, indicando una fiabilidad adecuada para investigación. Este coeficiente se estimó en un piloto con una muestra análoga y el mismo procedimiento de administración, se revisó la comprensión y orden de los ítems antes de la aplicación definitiva.

El análisis de datos incluyó estadística descriptiva (medias, desviaciones estándar y distribuciones de frecuencia) y análisis inferenciales. Se aplicaron pruebas t para muestras relacionadas con el fin de comparar los resultados pretest–postest dentro de cada grupo,

y pruebas t para muestras independientes para contrastar las diferencias intergrupales en las mejoras obtenidas. Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas para examinar el efecto de la interacción entre el momento de medición y la condición experimental. El tamaño del efecto se calculó mediante el estadístico d de Cohen (1988), interpretado según los criterios establecidos en la literatura. El nivel de significación estadística se fijó en $p < .05$ para todas las pruebas. Los análisis estadísticos se realizaron con el software IBM SPSS Statistics (v.29), siguiendo las directrices para la investigación educativa cuantitativa en entornos tecnológicos (Creswell & Gutterman, 2024).

5. Resultados

Los resultados se presentan siguiendo las recomendaciones internacionales para la comunicación científica en investigaciones cuantitativas, incorporando estadísticos descriptivos con intervalos de confianza al 95 % (IC_{95%}), análisis inferenciales con verificación de supuestos, estimaciones de tamaño del efecto con IC_{95%} e interpretación de los resultados (Lakens, 2013; Cumming, 2014). Se han incluido representaciones gráficas que permiten inspeccionar tanto la variabilidad de los datos como las trayectorias individuales de los participantes.

Para reducir la probabilidad de rechazar incorrectamente la hipótesis nula en el contexto de comparaciones múltiples, se aplicó el procedimiento de control de la tasa de descubrimientos falsos (False Discovery Rate, FDR) propuesto por Benjamini y Hochberg (1995). Los tamaños del efecto se expresan como d de Cohen (1988) para comparaciones independientes, d_z para comparaciones pareadas y η^2 para el análisis de varianza con medidas repetidas, empleando, cuando procedió, la corrección de Hedges para reducir el sesgo en muestras pequeñas (Morris & DeShon, 2002).

5.1. Rendimiento técnico (prueba PCT-IE)

La Tabla 2 sintetiza los estadísticos descriptivos del rendimiento técnico obtenidos en la prueba PCT-IE para cada grupo y momento de evaluación (pretest y posttest), incluyendo el tamaño de la muestra (N), la media (\bar{x}), la desviación típica (DT), los valores mínimo y máximo, el error estándar de la media (EEM) y el IC_{95%}.

Tabla 1.

Estadísticos descriptivos del rendimiento técnico (PCT-IE) por grupo.

Grupo	N	Momento	\bar{x}	DT	Mín	Máx	EEM	IC _{95%}
GE	20	Pretest	8,35	1,94	5	12	0,43	[7,45; 9,25]
GE	20	Posttest	14,10	2,15	10	18	0,48	[13,12; 15,08]
GC	20	Pretest	8,20	1,88	5	12	0,42	[7,33; 9,07]
GC	20	Posttest	12,25	2,40	8	17	0,54	[11,18; 13,32]

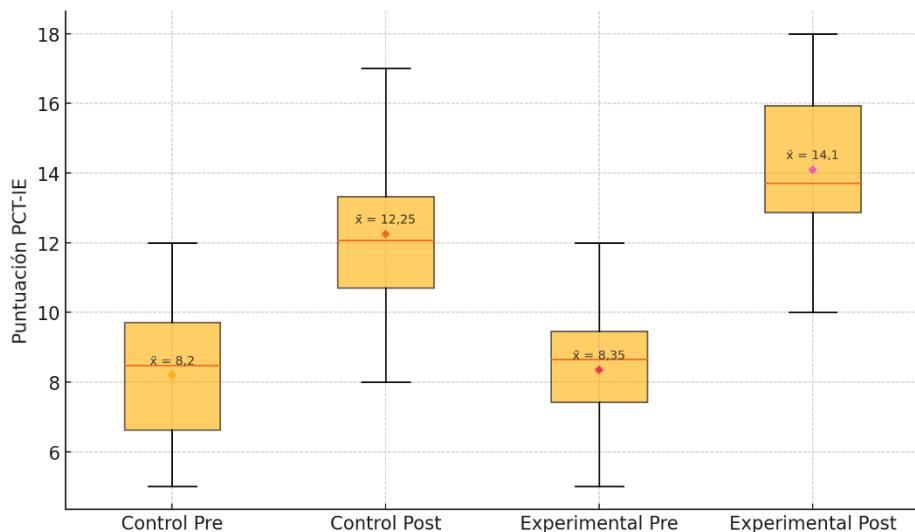
En la medición inicial (pretest), los resultados indicaron una equivalencia sustantiva entre el GE ($\bar{x} = 8,35$, DT = 1,94, IC_{95%} [7,45; 9,25]) y el GC ($\bar{x} = 8,20$, DT = 1,88, IC_{95%} [7,33; 9,07]), lo que sugiere condiciones de partida comparables.

Tras la intervención, se constató un incremento notable en ambos grupos, con una magnitud de cambio superior en el GE ($\bar{x} = 14,10$, $DT = 2,15$, $IC_{95\%} [13,12; 15,08]$) respecto al GC ($\bar{x} = 12,25$, $DT = 2,40$, $IC_{95\%} [11,18; 13,32]$). Esta diferencia sugiere un efecto positivo adicional asociado al uso de PEARL en la mejora del rendimiento técnico.

Las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk aplicadas a las diferencias pre-post no mostraron desviaciones estadísticamente significativas ($p > .10$), lo que indica que se cumplió el supuesto de distribución normal. La homogeneidad de varianzas en el postest se confirmó mediante la prueba de Levene ($F(1,38) = 1,12$, $p = .296$). Para verificar la estabilidad de los resultados, los contrastes se repitieron empleando la t de Yuen con recorte al 20 % y pruebas no paramétricas (Wilcoxon/Mann-Whitney), obteniéndose patrones de resultados congruentes con los análisis paramétricos.

La Figura 4 ilustra la distribución de puntuaciones mediante diagramas de caja por grupo y momento de evaluación. En el GE, el postest muestra un desplazamiento claro hacia puntuaciones superiores y una reducción de la dispersión, indicativos de una mejora simultánea en la precisión y las respuestas. Además, se observa un aumento de la mediana respecto al pretest, lo que refleja un incremento generalizado del rendimiento. No se identificaron valores atípicos extremos, lo que sugiere que la mejora fue homogénea entre la mayoría de los participantes.

Figura 4.
Diagramas de caja pretest–postest por grupo.



Fuente. Elaboración propia.

5.2. Análisis inferencial del rendimiento

El análisis inferencial reveló que, en el GE, la puntuación media en la prueba PCT-IE aumentó de forma significativa del pretest al postest ($t(19) = 12,42$, $p < .001$), con un tamaño del efecto muy elevado $d_z = 2,78$, $IC_{95\%} [1,92, 3,60]$). El grupo GC también mostró una mejora estadísticamente significativa ($t(19) = 8,15$, $p < .001$), aunque con una magnitud inferior ($d_z = 1,82$, $IC_{95\%} [1,13, 2,47]$) (Tabla 3). Los resultados se mantuvieron

al replicar los análisis mediante la t de Yuen con recorte al 20 % y pruebas no paramétricas de Wilcoxon, evidenciando la consistencia en los hallazgos.

Tabla 3.

Resultados de las pruebas t para muestras relacionadas (pretest–posttest) en cada grupo

Grupo	N	\bar{x} Pretest	DT Pretest	\bar{x} Postest	DT Postest	t	gl	p	d_z	IC _{95%} d_z
GE	20	8,35	1,94	14,10	2,15	12,42	19	<.001	2,78	[1,92; 3,60]
GC	20	8,20	1,88	12,25	2,40	8,15	19	<.001	1,82	[1,13; 2,47]

En la comparación intergrupos de las puntuaciones de postest (Tabla 4), el GE obtuvo un rendimiento significativamente superior al del GC ($t(38) = 2,64, p = .012$), con un tamaño del efecto grande ($d = 0,83$, IC_{95%} [0,18, 1,45]) y un valor de Hedges g prácticamente idéntico ($g = 0,81$, IC_{95%} [0,17, 1,42]).

Tabla 4.

Resultados de la comparación intergrupos en el postest.

Compa-ración	\bar{x}_{GE}	DT _{GE}	\bar{x}_{GC}	DT _{GC}	t	gl	p	d	IC _{95%} d	g	IC _{95%} g
GE/GC	14,1	2,15	12,25	2,40	2,64	38	.012	0,83	[0,18; 1,45]	0,81	[0,17; 1,42]

El análisis de varianza con medidas repetidas (ANOVA mixta 2×2) identificó una interacción significativa entre grupo y momento ($F(1,38) = 8,41, p = .006, \eta_p^2 = 0,181$, IC_{95%} [0,022, 0,371]), indicando que la mejora entre pretest y postest fue mayor en el grupo que empleó PEARL. Asimismo, se observó un efecto principal de momento estadísticamente significativo ($F(1,38) = 162,90, p < .001$), mientras que el efecto principal de grupo en el pretest no alcanzó significancia ($p = .761$), lo que respalda la equivalencia basal entre condiciones. Para controlar posibles desbalances iniciales, se realizó un ANCOVA utilizando la puntuación de pretest como covariante, obteniéndose un efecto de grupo sobre el postest igualmente significativo ($F(1,37) = 6,92, p = .012$).

5.3. Autoeficacia y motivación

Los resultados descriptivos e inferenciales de las escalas EAIE (autoeficacia) y EMAP-IE (motivación) se presentan en la Tabla 5. En autoeficacia, el GE mostró un incremento significativo desde el pretest ($\bar{x} = 3,10$, DT = 0,45) al postest ($\bar{x} = 3,95$, DT = 0,50), con una diferencia media de 0,85 puntos (IC_{95%} [0,64; 1,06], $t(19) = 9,28, p < .001$, $d_z = 2,08$, IC_{95%} [1,31; 2,81]). El GC también mejoró, aunque en menor medida ($\bar{x} = 3,05$, DT = 0,48 a $\bar{x} = 3,40$, DT = 0,52; $\Delta\bar{x} = 0,35$, IC_{95%} [0,01; 0,69], $t(19) = 2,18, p = .041$, $d_z = 0,49$, IC_{95%} [0,02, 0,94]).

Tabla 5.

Descriptivos e inferenciales de autoeficacia (EAIE) y motivación (EMAP-IE) por grupo.

Variable	Grupo	Pretest \bar{x} (DT)	Postest \bar{x} (DT)	$\Delta\bar{x}$	IC _{95%} $\Delta\bar{x}$	t	gl	p	d_z	IC _{95%} d_z
Autoeficacia	GE	3,10 (0,45)	3,95 (0,50)	0,85	[0,64; 1,06]	9,28	19	<.001	2,08	[1,31; 2,81]
Autoeficacia	GC	3,05 (0,48)	3,40 (0,52)	0,35	[0,01; 0,69]	2,18	19	.041	0,49	[0,02; 0,94]
Motivación	GE	3,60 (0,40)	4,30 (0,42)	0,70	[0,51; 0,89]	8,43	19	<.001	1,88	[1,14; 2,60]
Motivación	GC	3,55 (0,38)	3,80 (0,40)	0,25	[0,00; 0,50]	2,09	19	.05	0,47	[0,00; 0,92]

En motivación, el GE pasó de $\bar{x} = 3,60$ ($DT = 0,40$) a $\bar{x} = 4,30$ ($DT = 0,42$), con $\Delta\bar{x} = 0,70$ ($IC_{95\%} [0,51; 0,89]$, $t(19) = 8,43$, $p < .001$, $d_z = 1,88$, $IC_{95\%} [1,14; 2,60]$), mientras que el GC experimentó un incremento más reducido ($\bar{x} = 3,55$, $DT = 0,38$ a $\bar{x} = 3,80$, $DT = 0,40$; $\Delta\bar{x} = 0,25$, $IC_{95\%} [0,00; 0,50]$, $t(19) = 2,09$, $p = .05$, $d_z = 0,47$, $IC_{95\%} [0,00; 0,92]$).

En las comparaciones intergrupos de postest, las diferencias favorecieron al GE tanto en autoeficacia como en motivación, con tamaños del efecto grandes y moderados, respectivamente. Dado que las escalas se basan en formato Likert, la convergencia de los resultados se verificó mediante las pruebas no paramétricas de Mann-Whitney, obteniéndose patrones consistentes con los análisis paramétricos.

En relación con las asociaciones entre variables, la Tabla 6 muestra que la mejora en rendimiento técnico ($\Delta PCT-IE$) correlacionó de forma positiva y significativa con el incremento en autoeficacia ($\Delta EAIE$), $r = 0,56$, $IC_{95\%} [0,17; 0,79]$, $p = .009$, mientras que la correlación con el cambio en motivación ($\Delta EMAP-IE$) fue positiva, pero no significativa ($r = 0,29$, $IC_{95\%} [-0,16; 0,64]$, $p = .206$).

Tabla 6.

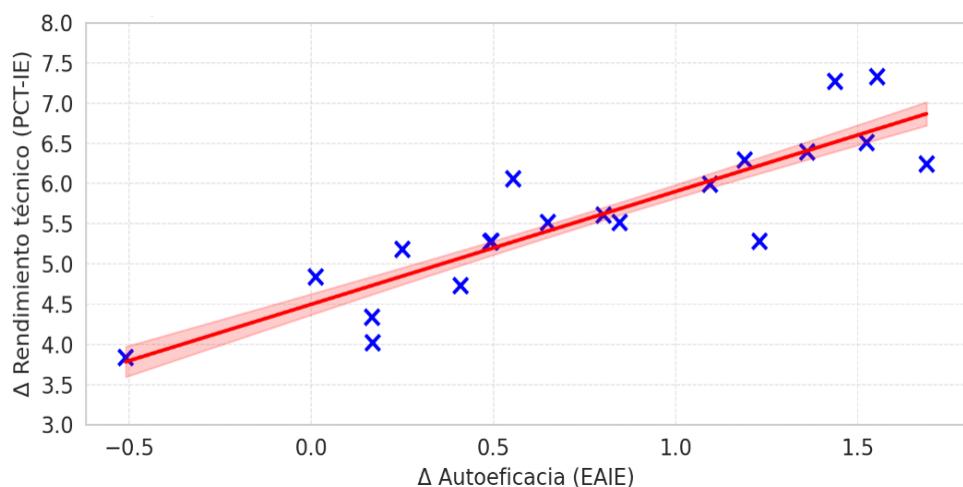
Correlaciones de Pearson entre autoeficacia, motivación y rendimiento técnico.

Variables	<i>r</i>	<i>IC_{95%}</i>	<i>p</i>
$\Delta PCT-IE$ vs. $\Delta EAIE$	0,56	[0,17; 0,79]	.009
$\Delta PCT-IE$ vs. $\Delta EMAP-IE$	0,29	[-0,16; 0,64]	.206

Estas relaciones se ilustran gráficamente en la Figura 5, donde se representa la asociación entre $\Delta EAIE$ y $\Delta PCT-IE$ mediante un diagrama de dispersión con línea de regresión y bandas de $IC_{95\%}$ de la predicción. El análisis de regresión lineal indicó que la relación puede describirse mediante la ecuación $\Delta PCT-IE = 2,14 + 2,06 \cdot \Delta EAIE$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,224$, lo que sugiere que aproximadamente el 22,4 % de la variabilidad en la mejora del rendimiento técnico se explica por el incremento en autoeficacia, lo cual refleja una relación positiva de magnitud moderada.

Figura 5.

Diagrama de dispersión de $\Delta EAIE$ vs. $\Delta PCT-IE$ con banda $IC_{95\%}$.



Fuente. Elaboración propia.

6. Discusión

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la implementación de PEARL constituye una estrategia eficaz para optimizar el aprendizaje de la instrumentación electrónica en titulaciones técnicas de educación superior. Tal como muestran los análisis descriptivos e inferenciales, el GE alcanzó mejoras significativas tanto en el rendimiento técnico (PCT-IE) como en las medidas de autoeficacia, superando de forma notable al GC. Estos hallazgos, en consonancia con lo señalado por Bacca et al. (2014) e Ibáñez & Delgado-Kloos (2018), indican que la interacción inmersiva con dispositivos virtualizados, acompañada de guías interactivas y retroalimentación inmediata, potencia la asimilación de conceptos y procedimientos técnicos, favorece la motivación y reduce la carga cognitiva asociada al uso inicial de equipos reales (García et al., 2023; Cabero-Almenara et al., 2025).

La mejora observada coincide con evidencias previas en la literatura sobre RA educativa en entornos STEM (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018), que documentan beneficios en la comprensión conceptual, la retención de contenidos y la transferencia de competencias al trabajo con instrumentación real. En particular, Estrada et al. (2022) resaltan que la integración de RA con sistemas de reconocimiento de objetos y contenidos adaptativos facilita la formación personalizada, el enfoque también presente en PEARL gracias a su generación automática de equipos y la activación de tutoriales formativos específicos. Esta aproximación supone un avance respecto a soluciones basadas exclusivamente en marcadores (Azuma, 1997), ya que posibilita la interacción directa con el equipamiento real sin elementos adicionales de anclaje, lo que incrementa la naturalidad de la experiencia y su relevancia didáctica.

Desde una óptica metodológica, la presente investigación ha implementado las sugerencias para estudios de características cuantitativa con uso de tecnologías (Lakens, 2013; Cumming, 2014), incluyendo estimaciones de la magnitud del tamaño del efecto y su interpretación contextualizada. La magnitud de los efectos observados sustenta la idea de que PEARL no produce mejoras de tipo marginal, sino que presenta un impacto significativo en la competencia técnica del alumnado. Este resultado podría ser explicado por la consideración activa, exploratoria y autorregulada que presenta la experiencia formativa con RA, tal como ya se ha mostrado en investigaciones anteriores (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Morales y Lozano, 2025).

En lo que respecta a sus contribuciones, PEARL combina de forma innovadora tres grandes dimensiones: (i) la precisión de la tecnología mediante el reconocimiento y la manipulación con las manos en tiempo real de objetos; (ii) el realismo inmersivo gracias a la superposición con modelos 3D interactivos, que simulan y se equiparan con el equipamiento real; y finalmente (iii) la flexibilidad didáctica, por lo que el sistema permite su propio uso en entornos no controlados, ya que dimensiona la dependencia de laboratorios físicos y los costes de la infraestructura requerida. Esta arquitectura da solución a las limitaciones que se han ido descubriendo cuando se ha revisado parte de la literatura previa (Bacca et al., 2014; del Cerro & Morales, 2018; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018) y a partir de la cual surge un modelo más flexible y accesible para la enseñanza de la instrumentación electrónica en la educación superior.

La integración de PEARL como herramienta educativa, se basa en los principios del aprendizaje manipulativo, alineándose con enfoques como learning by doing y el aprendizaje basado en retos, lo cual favorece la puesta en práctica de los conocimientos teóricos en un entorno controlado y seguro, facilitando el afianzamiento de habilidades y competencias técnicas. Como resaltan Estrada et al. (2022), este enfoque incrementa la implicación activa del alumnado, favorece la repetición deliberada de procedimientos para incidir en la formación de destrezas, y permite experimentar sin que los equipos corran el riesgo de ser dañados, ni poner en peligro al personal.

A pesar de los logros alcanzados en la investigación, es importante señalar que el estudio presenta ciertas limitaciones. La muestra, aun siendo idónea para detectar efectos significativos, es limitada y podría no representar la heterogeneidad de perfiles que existen en la población de estudiantes. Igualmente, las pruebas se realizaron en unas condiciones controladas en cuanto a la iluminación y la disposición del espacio, ya que las variaciones extremas de estos elementos pudieran influir en la calidad de la experiencia inmersiva y por ende en el éxito del reconocimiento de objetos. Finalmente, sería apropiado comprobar los efectos a medio-largo plazo sobre la retención del aprendizaje y la transferencia de las competencias adquiridas al uso de equipamiento real; aspectos todos ellos que constituyen líneas de trabajo para futuras evaluaciones de la eficacia de PEARL.

7. Conclusiones

El presente estudio ha demostrado que la combinación de los entornos de RA, y en particular el del sistema PEARL, se presenta como una estrategia pedagógica fácil y eficaz para optimizar el aprendizaje de la instrumentación electrónica en titulaciones STEM en educación superior. Los resultados obtenidos han evidenciado mejoras significativas en el rendimiento técnico, en la autoeficacia y en la motivación del alumnado que había utilizado PEARL frente al grupo que únicamente había realizado las prácticas en un laboratorio físico convencional.

De la misma forma, el análisis inferencial mostró grandes tamaños del efecto en las tres dimensiones evaluadas, lo que indicaría que el uso del sistema PEARL no produciría improvisaciones marginales, sino un impacto considerable tanto en la adquisición como en la consolidación de las competencias STEM procedimentales, las cuales se asocian a la capacidad de ese sistema para ofrecer experiencias inmersivas de alta fidelidad visual y funcional; con interacción gestual natural, retroalimentación inmediata y con opción de repetir las prácticas sin restricciones logísticas y sin riesgos por el instrumental de laboratorio o las personas.

En términos formativos, la arquitectura y el diseño instruccional empleado con PEARL aporta un avance considerable hacia los principios del aprendizaje experiencial para facilitar la implicación activa del alumnado, el aprendizaje autorregulado y la transferencia del conocimiento a la práctica real. Además, engloba la eliminación de las dependencias de hardware adicional y de marcadores, incrementando así su portabilidad y versatilidad, y eliminando las limitaciones que habíamos encontrado en implementaciones anteriores de RA en instrumentación electrónica.

Los hallazgos apuntan a que el sistema PEARL es una herramienta con un gran potencial para la transformación digital de la enseñanza de la instrumentación electrónica, para mejorar la accesibilidad, la calidad y la eficacia del aprendizaje práctico en áreas de conocimiento STEM y para contribuir a la adecuación de las competencias técnicas necesarias para el desempeño profesional en la ingeniería y las ciencias.

Presentación del artículo: 2 de septiembre de 2025

Fecha de aprobación: 15 de noviembre de 2025

Fecha de publicación: 1 de enero de 2026

Morales-Méndez, G., Lozano-Avilés, A.B., & Robles-Robles, J. (2026). Realidad aumentada en la enseñanza de la instrumentación en materias STEM: aprendizaje inmersivo mediante PEARL en educación superior. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 26(83). <http://dx.doi.org/10.6018/red.677971>

Financiación

Este trabajo no ha recibido ninguna subvención específica de los organismos de financiación en los sectores públicos, comerciales o sin fines de lucro.

Declaración del autor o de los autores sobre el uso de LLM

Este artículo no ha utilizado para su redacción textos provenientes de un LLM (ChatGPT u otros).

Declaración de las contribuciones de los autores

Conceptualización, G.M.M.; curación de datos, G.M.M., A.B.L.A. y J.R.R.; software, G.M.M.; análisis formal, G.M.M., A.B.L.A. y J.R.R.; investigación, G.M.M., A.B.L.A. y J.R.R.; metodología, G.M.M. y A.B.L.A.; recursos, G.M.M. y J.R.R.; supervisión, G.M.M. y J.R.R.; validación, G.M.M. y A.B.L.A; visualización, G.M.M., A.B.L.A. y J.R.R.; redacción – borrador original, G.M.M.; redacción – revisión y edición, A.B.L.A. y J.R.R.

Referencias

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational research review*, 20, 1-11.
- Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532.
- Alan, F. V. (2022). Computer-Based Interactive Analog Multimeter Simulator. *Development*, 1(1), 17-28.
- Alptekin, M., & Temmen, K. (2018). Design concept and prototype for an augmented reality based virtual preparation laboratory training in electrical engineering. In *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 963-968). IEEE.

- Ang, I. J. X., & Lim, K. H. (2019). Enhancing STEM education using augmented reality and machine learning. In *2019 7th International Conference on Smart Computing & Communications (ICSCC)* (pp. 1-5). IEEE.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*, 6(4), 355-385.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133–149.
- Bandura, A. (2006). Guide for constructing self-efficacy scales. *Self-efficacy beliefs of adolescents*, 5(1), 307-337.
- Bautista, L. E., Maradei, F., & Pedraza, G. (2025). Análisis de la Disposición Espacial de Contenido en entornos de Realidad Aumentada y su Efecto en la Carga Cognitiva de los Usuarios. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*. 72, 39–69.
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal statistical society: series B (Methodological)*, 57(1), 289-300.
- Billinghurst, M., & Kato, H. (2002). Collaborative augmented reality. *Communications of the ACM*, 45(7), 64-70.
- Boulo, J., Blanchette, A. K., Cyr, A., & McFadyen, B. J. (2024). Validity and reliability of the tracking measures extracted from the oculus quest 2 during locomotion. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, 12(1), 2274391.
- Cabero-Almenara, J., Miravete-Gracia, M., & Rodríguez, A. P. (2025). Aprendizaje en Realidad Virtual: impacto en la carga cognitiva y el rendimiento del alumnado. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 25(82).
- Carmigniani, J., & Furht, B. (2011). Augmented reality: an overview. *Handbook of augmented reality*, 3-46.
- Chaljub-Hasbún, J., Almenara, J. C., Michel-Acosta, P., Bello, R., & Pepín, J. (2025). Usability of a virtual reality resource for oscilloscope teaching: expert assessment. *IJERI: International Journal of Educational Research and Innovation*, 24, 1-15.
- Cheng, K. H., & Tsai, C. C. (2013). Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research. *Journal of science education and technology*, 22(4), 449-462.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Creswell, J. W., & Gutterman, T. C. (2024). *Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. Pearson. One Lake Street, Upper Saddle River, New Jersey.
- Cumming, G. (2014). The new statistics: Why and how. *Psychological science*, 25(1), 7-29.
- De Jong, T., & Lazonder, A. W. (2005). The guided discovery principle in multimedia learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 2, 371-390.

- del Cerro Velázquez, F., & Morales Méndez, G. (2018). Augmented reality and mobile devices: A binominal methodological resource for inclusive education (SDG 4). An example in secondary education. *Sustainability*, 10(10), 3446.
- del Cerro Velázquez, F., & Morales Méndez, G. (2021). Systematic review of the development of spatial intelligence through augmented reality in stem knowledge areas. *Mathematics*, 9(23), 3067.
- Del-Moral-Pérez, M. E., López-Bouzas, N., & Castañeda-Fernández, J. (2025). Microrrelatos, codificación robótica, aplicaciones digitales y realidad aumentada para potenciar el pensamiento computacional infantil. *Pixel-Bit: Revista de medios y educación*, 73, 154-180.
- Di Serio, Á., Ibáñez, M. B., & Kloos, C. D. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers & education*, 68, 586-596.
- Estrada, J., Paheding, S., Yang, X., & Niyaz, Q. (2022). Deep-learning-incorporated augmented reality application for engineering lab training. *Applied Sciences*, 12(10), 5159.
- Fonseca, D., Redondo, E., & Villagrasa, S. (2015). Mixed-methods research: a new approach to evaluating the motivation and satisfaction of university students using advanced visual technologies. *Universal Access in the Information Society*, 14(3), 311-332.
- García, F. M., Rojas, L. E. B., & Pedraza, G. (2023). Carga cognitiva y esfuerzo mental durante el cambio de contexto en entornos de realidad aumentada con fines de aprendizaje procedimental. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 68, 305-340.
- Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual reality*, 23(4), 447-459.
- Gutiérrez, J. M., & Fernández, M. D. M. (2014). Applying augmented reality in engineering education to improve academic performance & student motivation. *The International journal of engineering education*, 30(3), 625-635.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn?. *Educational psychology review*, 16(3), 235-266.
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & education*, 71, 1-13.
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123.
- Kanivets, O. V., Kanivets, I. M., & Gorda, T. M. (2022). Development of an augmented reality mobile physics application to study electric circuits. *Educational Technology Quarterly*, 4, 347-365.
- Keith, N., & Frese, M. (2005). Self-regulation in error management training: emotion control and metacognition as mediators of performance effects. *Journal of Applied Psychology*, 90(4), 677.
- Keller, J. M. (2009). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. Springer Science & Business Media.

- Kolb, D. A. (2013). *The process of experiential learning. In Culture and processes of adult learning* (pp. 138-156). Routledge.
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in psychology*, 4, 863.
- Lave, J., & Wenger, E. (2001). *Legitimate peripheral participation in communities of practice. In Supporting lifelong learning* (pp. 121-136). Routledge.
- López, V. L., de la Cruz, J., Barrios, Á. N., Brusadin, R., Crespo, M. J., Esquer, I. S., ... & Campos, R. R. (2024). Modelización 3D de última generación y simulación mediante dispositivos de realidad virtual para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de cirugía hepatobiliar con alumnos de medicina. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 24(79).
- Martín-Gutiérrez, J., Saorín, J. L., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D. C., & Ortega, M. (2010). Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34(1), 77-91.
- Mekni, M., & Lemieux, A. (2014). Augmented reality: Applications, challenges and future trends. In *International Conference, 13th, Applied computer and applied computational science* (pp. 205-214).
- Meskhi, B., Ponomareva, S., & Ugnich, E. (2019). E-learning in higher inclusive education: needs, opportunities and limitations. *International journal of educational management*, 33(3), 424-437.
- Morales Méndez, G., & Lozano Avilés, A. B. (2025). Realidad aumentada y GeoGebra 3D para mejorar la inteligencia espacial en la enseñanza de la geometría volumétrica. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 25(82).
- Morales Méndez, G., & del Cerro Velázquez, F. (2025). Adaptive Augmented Reality Architecture for Optimising Assistance and Safety in Industry 4.0. *Big Data and Cognitive Computing*, 9(5), 133.
- Morris, S. B., & DeShon, R. P. (2002). Combining effect size estimates in meta-analysis with repeated measures and independent-groups designs. *Psychological methods*, 7(1), 105.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Nursita, Y. M., & Hadi, S. (2021). Development of mobile augmented reality based media for an electrical measurement instrument. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2111, No. 1, p. 012029). IOP Publishing.
- Paderborn University, Department of Teaching Technology. (2025). *Technikdidaktik gewinnt mit PEARL internationalen Preis für Online-Labore*. Universität Paderborn.
- Pajares, F. (1996). Self-efficacy beliefs in academic settings. *Review of educational research*, 66(4), 543-578.
- Palacios-Rodríguez, A., Cabero-Almenara, J., & Serrano-Hidalgo, M. (2024). Educación Médica y Carga Cognitiva: Estudio de la Interacción con Objetos de Aprendizaje en Realidad Virtual y Vídeo 360º. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 24(79).
- Pérez-López, D., & Contero, M. (2013). Delivering educational multimedia contents through an augmented reality application: A case study on its impact on knowledge

- acquisition and retention. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 12(4), 19-28.
- Pordanjani, Z. A., & Salehi, K. (2025). Limitations of Electronic Assessment: A Systematic Review. *Quanta Research*, 3(1), 111-130.
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Personal and ubiquitous computing*, 18(6), 1533-1543.
- Salmi, H., Thuneberg, H., & Vainikainen, M. P. (2017). Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context. *International Journal of Science Education, Part B*, 7(3), 253-268.
- Sandoval Pérez, S., Gonzalez Lopez, J. M., Villa Barba, M. A., Jimenez Betancourt, R. O., Molinar Solís, J. E., Rosas Ornelas, J. L., ... & Rodriguez Haro, F. (2022). On the use of augmented reality to reinforce the learning of power electronics for beginners. *Electronics*, 11(3), 302.
- Singh, G., & Ahmad, F. (2024). An interactive augmented reality framework to enhance the user experience and operational skills in electronics laboratories. *Smart Learning Environments*, 11(1), 5.
- Syberfeldt, A., Danielsson, O., & Gustavsson, P. (2017). Augmented reality smart glasses in the smart factory: Product evaluation guidelines and review of available products. *Ieee Access*, 5, 9118-9130.
- Tene, T., Marcatoma Tixi, J. A., Palacios Robalino, M. D. L., Mendoza Salazar, M. J., Vacacela Gomez, C., & Bellucci, S. (2024). Integrating immersive technologies with STEM education: a systematic review. *Frontiers in Education*, 9, 1410163.
- Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & education*, 62, 41-49.
- Yunus, Suwito, D., Indriyanti, A. D., Pambudi, R. G., & Sari, D. P. (2025). Development of welding technique teaching module based on augmented reality integrated (ARI) equipped with 3D animation simulation to improve 21st century skills of vocational high school students. *Cogent Education*, 12(1), 2505279.
- Yoon, S., Anderson, E., Lin, J., & Elinich, K. (2017). How augmented reality enables conceptual understanding of challenging science content. *Journal of Educational Technology & Society*, 20(1), 156-168.
- Zajda, J. (2021). Constructivist learning theory and creating effective learning environments. In *Globalisation and education reforms: Creating effective learning environments* (pp. 35-50). Cham: Springer International Publishing.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into practice*, 41(2), 64-70.

Apéndice I.

Prueba de conocimientos técnicos en instrumentación electrónica (PCT-IE).

Ítem	Pregunta	Opciones de respuesta	Respuesta correcta	Justificación técnica
1	En un osciloscopio digital, ¿qué parámetro debe ajustarse para evitar el aliasing al visualizar señales de alta frecuencia?	a) escala vertical b) base de tiempos c) acoplamiento AC d) ancho de banda limitado	b	Ajustar la base de tiempos incrementa la tasa de muestreo efectiva, evitando submuestreo y distorsión de la señal.
2	El control de “acoplamiento AC” en un osciloscopio sirve para:	a) filtrar componentes de continua b) filtrar componentes de alterna c) aumentar la resolución vertical d) reducir el ruido térmico	a	El acoplamiento AC introduce un condensador en serie que bloquea la componente continua y permite ver solo variaciones AC.
3	Si un generador de funciones se ajusta a 1 kHz y 4 Vpp, ¿qué significa “Vpp”?	a) voltaje promedio b) voltaje RMS c) voltaje pico a pico d) voltaje máximo positivo	c	Vpp corresponde a la diferencia de tensión entre el máximo positivo y el máximo negativo de la señal.
4	¿Cuál es el objetivo del control de trigger en un osciloscopio?	a) estabilizar la imagen de la señal b) ampliar el ancho de banda c) filtrar armónicos indeseados d) aumentar la frecuencia de muestreo	a	El trigger sincroniza el barrido de la pantalla con un punto de la señal, evitando que la imagen oscile.
5	En un multímetro digital, la escala de 200 Ω indica:	a) máxima precisión para resistencias bajas b) límite inferior de medición c) protección contra sobrecargas d) medición automática de alta precisión	a	En escalas bajas, la resolución es mayor para valores pequeños, optimizando la precisión en resistencias bajas.
6	¿Qué ocurre si se conecta un osciloscopio con acoplamiento AC a una señal continua pura?	a) la señal se amplifica b) se bloquea la componente continua c) la señal se invierte d) se produce un desplazamiento vertical	b	El condensador de acoplamiento AC impide el paso de corriente continua, resultando en línea plana.
7	En un generador de funciones, el control de offset permite:	a) cambiar la forma de onda b) desplazar la señal respecto al nivel de referencia c) reducir el ruido de alta frecuencia d) aumentar la amplitud pico a pico	b	El offset añade o resta un valor DC a la señal alterna, modificando su posición vertical.
8	En una protoboard, las hileras de cinco perforaciones centrales están conectadas:	a) horizontalmente b) verticalmente por columnas c) en diagonal d) solo por filas exteriores	b	Cada columna de cinco orificios está eléctricamente conectada para facilitar el montaje de componentes.
9	Un osciloscopio con ancho de banda de 20 MHz puede medir adecuadamente señales de:	a) hasta 10 MHz b) hasta 15 MHz c) hasta 20 MHz d) hasta 25 MHz	c	El ancho de banda especifica la frecuencia máxima a la que el equipo mantiene la amplitud sin atenuación significativa.
10	El valor RMS de una señal senoidal pura se calcula como:	a) valor pico $\times 0,5$ b) valor pico $/ \sqrt{2}$ c) valor pico $\times \sqrt{2}$ d) valor pico $/ 2$	b	Para senoidales puras, $RMS = V_p / \sqrt{2}$, donde V_p es el valor máximo absoluto.
11	Al medir corriente alterna con un multímetro, la	a) afecta la lectura b) no afecta la lectura c) invierte la indicación numérica	b	En AC, la lectura es independiente de la polaridad, ya que la

Ítem	Pregunta	Opciones de respuesta	Respuesta correcta	Justificación técnica
	polaridad de las puntas:	d) anula la lectura		corriente cambia de dirección periódicamente.
12	El “tiempo de subida” (rise time) en un osciloscopio está relacionado con:	a) la amplitud de la señal b) la capacidad de respuesta a transitorios c) la temperatura ambiente d) el tipo de acoplamiento	b	El rise time es el tiempo que tarda la señal en pasar del 10 % al 90 % de su valor final, reflejando la respuesta a transitorios.
13	En un generador de funciones, el ciclo de trabajo del 50% significa:	a) tiempo en alto igual al tiempo en bajo b) señal sin armónicos impares c) señal triangular perfecta d) amplitud máxima	a	El duty cycle del 50 % indica igualdad de duración entre los niveles alto y bajo de la señal.
14	Para minimizar errores al medir voltajes muy bajos, se recomienda:	a) escala de medición alta b) cables cortos y apantallados c) cables largos sin apantallar d) filtro paso bajo en paralelo	b	Cables cortos y blindados reducen la captación de ruido y caídas de tensión.
15	Un condensador conectado a la entrada de un osciloscopio:	a) filtra altas frecuencias b) filtra bajas frecuencias c) aumenta la amplitud de la señal d) disminuye el ancho de banda	b	El condensador actúa como filtro paso alto, atenuando bajas frecuencias.
16	Señal inestable y desplazada en un osciloscopio:	a) aumentar la base de tiempos b) ajustar trigger y acoplamiento DC c) reducir la amplitud vertical d) activar modo XY	b	El ajuste del trigger y acoplamiento DC estabiliza y centra la señal en pantalla.
17	Medición de resistencia en protoboard sin desconectar el componente:	a) no es posible medir b) medir y restar resistencia del circuito c) usar método de compensación d) medir en paralelo y promediar	c	El método de compensación permite aislar el valor del componente compensando resistencias parásitas.
18	Para obtener Vpp, periodo y frecuencia desde una captura:	a) calcular frecuencia y estimar amplitud b) medir amplitud y periodo, calcular frecuencia c) usar escalas automáticas d) medir ciclo de trabajo y calcular amplitud	b	Midiendo amplitud y periodo se puede derivar la frecuencia y confirmar el Vpp.
19	Configuración de generador de funciones para señal cuadrada 10 kHz, 3 Vpp, 25 % duty:	a) señal cuadrada, 10 kHz, 3 Vpp, duty 25 % b) señal triangular, 10 kHz, 3 Vpp c) señal cuadrada, 5 kHz, 6 Vpp d) señal senoidal, 10 kHz, 3 Vpp	a	La configuración especificada coincide con los valores exactos solicitados.
20	Errores comunes al medir DC con multímetro:	a) polaridad incorrecta y contacto deficiente b) uso de escala automática c) alta temperatura ambiente d) baja impedancia interna	a	Invertir polaridad o mal contacto altera la lectura o provoca inestabilidad.

Apéndice II.

Escala de autoeficacia en instrumentación electrónica (EAIE).

Ítem	Enunciado
1	Me siento capaz de configurar un osciloscopio digital para medir señales alternas y continuas.
2	Puedo ajustar correctamente la base de tiempos y la escala vertical de un osciloscopio para obtener mediciones precisas.
3	Me considero competente para utilizar el control de trigger y estabilizar la visualización de una señal.
4	Puedo interpretar con precisión las mediciones de tensión y frecuencia mostradas en un osciloscopio.
5	Me siento capaz de configurar un generador de funciones para producir señales con las características deseadas (forma de onda, frecuencia, amplitud y offset).
6	Puedo medir voltajes y corrientes de forma segura y precisa utilizando un multímetro digital.
7	Me considero competente para medir resistencias y comprobar la continuidad de un circuito con un multímetro.
8	Puedo montar un circuito básico en una protoboard siguiendo un esquema eléctrico.
9	Me siento capaz de identificar y corregir errores simples en el montaje de circuitos en protoboard.
10	Puedo seleccionar la escala de medición adecuada en el osciloscopio en función del tipo de señal.
11	Me considero capaz de integrar el uso de varios instrumentos de laboratorio para resolver una tarea experimental.
12	Puedo trabajar de forma autónoma en un laboratorio electrónico aplicando procedimientos seguros y correctos.

Apéndice III.

Escala de motivación hacia el aprendizaje práctico en instrumentación electrónica (EMAP-IE).

Ítem	Enunciado
1	Me resulta interesante aprender a utilizar equipos de instrumentación electrónica.
2	Siento curiosidad por explorar nuevas funciones y configuraciones en los instrumentos de laboratorio.
3	Disfruto realizando prácticas que implican el uso de osciloscopios, generadores de funciones y multímetros.
4	Las prácticas de laboratorio me ayudan a comprender mejor los conceptos teóricos.
5	Me motiva resolver problemas técnicos en el laboratorio por mi cuenta.
6	Considero que aprender a usar estos instrumentos es relevante para mi futura carrera profesional.
7	Me esfuerzo por mejorar mi destreza en el uso de la instrumentación electrónica.
8	La posibilidad de experimentar sin riesgo en un entorno seguro aumenta mi interés por las prácticas.
9	Siento satisfacción personal cuando logro realizar correctamente una medición o un montaje.
10	Prefiero las actividades prácticas con instrumentación electrónica frente a las clases exclusivamente teóricas.