

<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.402>

## **Diseño de Sistemas Electrónicos en Realidad Virtual para la Industria 4.0: Una Enfoque en la Seguridad Industrial**

*Virtual Reality Electronic Systems Design for Industry 4.0: A Focus on Industrial Safety*

**José Ezequiel Naranjo Robalino**

[jose.naranjo0463@utc.edu.ec](mailto:jose.naranjo0463@utc.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-2884-1667>

Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)  
Ecuador – Latacunga

**Erika Cristina Lozada Martínez**

[erikacristina.lozada@alumni.urv.cat](mailto:erikacristina.lozada@alumni.urv.cat)

<https://orcid.org/0000-0001-8819-2366>

Universitat Rovira i Virgili  
Tarragona – España

**Marcelo Vladimir García Sánchez**

[mv.garcia@uta.edu.ec](mailto:mv.garcia@uta.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-7138-3913>

Universidad Técnica de Ambato  
Ambato – Ecuador

*Artículo recibido: 20 octubre 2024 -*

*Aceptado para publicación: 25 noviembre 2024*

*Conflictos de intereses: Ninguno que declarar*

### **RESUMEN**

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema educativo interactivo basado en realidad virtual y simulación 3D, orientado a la enseñanza de electrónica y sistemas de seguridad industrial. El sistema combina la simulación en Unity 3D con un circuito físico controlado por Arduino, integrando un sensor de proximidad basado en láser que activa una alarma al detectar la entrada de un montacargas en una zona restringida. La propuesta incluye tres módulos principales: una introducción explicativa sobre el sistema, una etapa práctica de ensamblaje interactivo de los componentes electrónicos y un cuestionario final de 10 preguntas validado por expertos, que evalúa los conocimientos adquiridos. La experiencia del usuario fue evaluada mediante el System Usability Scale (SUS), obteniendo una puntuación promedio de 78, lo que indica una buena usabilidad con margen de mejora. Los resultados muestran que el sistema es intuitivo y eficaz para el aprendizaje práctico, destacando la claridad en las explicaciones, la interacción fluida y la simulación realista de un entorno industrial. Sin embargo, se identificaron áreas a optimizar, como la interfaz de usuario y la retroalimentación en el ensamblaje. Este sistema educativo demuestra el potencial de las tecnologías emergentes para mejorar la enseñanza técnica, al combinar entornos virtuales inmersivos con prácticas interactivas. La metodología utilizada puede adaptarse a otras disciplinas, fomentando un aprendizaje significativo y preparando a los usuarios

para aplicaciones en contextos industriales reales. Este enfoque ofrece una herramienta innovadora con gran potencial de expansión y perfeccionamiento.

*Palabras clave:* realidad virtual, system usability scale (sus), optimización industrial

### **ABSTRACT**

This work presents the design and implementation of an interactive educational system based on virtual reality and 3D simulation, oriented to the teaching of electronics and industrial safety systems. The system combines Unity 3D simulation with a physical circuit controlled by Arduino, integrating a laser-based proximity sensor that triggers an alarm when it detects the entry of a forklift in a restricted area. The proposal includes three main modules: an explanatory introduction about the system, a practical stage of interactive assembly of the electronic components and a final 10-question quiz validated by experts, which evaluates the acquired knowledge. The user experience was evaluated using the System Usability Scale (SUS), obtaining an average score of 78, indicating good usability with room for improvement. The results show that the system is intuitive and effective for hands-on learning, highlighting the clarity of the explanations, the fluid interaction and the realistic simulation of an industrial environment. However, areas for optimization were identified, such as the user interface and assembly feedback. This educational system demonstrates the potential of emerging technologies to enhance technical education by combining immersive virtual environments with interactive practices. The methodology used can be adapted to other disciplines, fostering meaningful learning and preparing users for applications in real industrial contexts. This approach offers an innovative tool with great potential for expansion and improvement.

*Keywords:* virtual reality, system usability scale (sus), industrial optimization

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la tecnología ha avanzado significativamente, transformando múltiples aspectos de la vida cotidiana y profesional. Este crecimiento ha captado el interés de investigadores, profesionales, empresarios, estudiantes y la sociedad en general (He et al., 2024). En el ámbito educativo, la implementación de tecnologías emergentes ha permitido la mejora sustancial de los procesos de aprendizaje al proporcionar herramientas que orientan y optimizan la planificación educativa de manera más eficiente y accesible (Zhao et al., 2024).

En este contexto, la Industria 4.0 ha surgido como una revolución tecnológica que integra sistemas avanzados de producción y operación con tecnologías inteligentes. Esta cuarta revolución industrial se basa en un ciclo continuo conocido como PDP (Physical-to-Digital-to-Physical), el cual permite digitalizar procesos físicos, analizarlos en entornos virtuales y retroalimentar el entorno físico con decisiones optimizadas (Goli, 2024). Este paradigma se apoya en tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), la impresión 3D, la realidad virtual (VR) y otras herramientas avanzadas, transformando la interacción entre máquinas y optimizando procesos de producción en diversas industrias (Tao et al., 2024).

En el ámbito educativo, la incorporación de estas tecnologías ha mostrado grandes beneficios, especialmente durante desafíos globales como la pandemia del COVID-19. Durante esta emergencia sanitaria, las instituciones educativas enfrentaron la necesidad de rediseñar sus metodologías de enseñanza práctica, dado que las restricciones de contacto físico dificultaron los métodos tradicionales de aprendizaje. Como respuesta, la adopción de herramientas como la realidad virtual permitió la representación interactiva de conceptos complejos en entornos tridimensionales, fomentando la motivación y el compromiso de los estudiantes en el proceso de aprendizaje (Burguillo et al., 2025).

En este sentido, Unity 3D ha demostrado ser una plataforma versátil para el desarrollo de modelos digitales y simulaciones en VR, facilitando la creación de escenarios virtuales que reproducen la realidad (Wu et al., 2024). La interacción en estos entornos permite a los estudiantes experimentar situaciones prácticas de manera inmersiva, fortaleciendo su comprensión teórica y habilidades técnicas. Este enfoque ha revolucionado la enseñanza en disciplinas como la electrónica, la automatización y la gestión industrial, donde la simulación y la visualización son herramientas clave (Shi et al., 2024).

El presente artículo aborda el diseño e implementación de un circuito electrónico integrado en un entorno virtual 3D, desarrollado en Unity y complementado con una maqueta física. Este sistema incluye un sensor de proximidad que utiliza tecnología Arduino y programación para detectar el movimiento de un montacargas en áreas restringidas. Cuando el montacargas ingresa a estas zonas, se activa una alarma de seguridad. La solución combina el aprendizaje práctico con

la simulación, permitiendo a los estudiantes y profesionales interactuar con un entorno industrial realista y seguro.

Además, este estudio presenta una comparación entre metodologías de entrenamiento tradicionales y el enfoque basado en realidad virtual, analizando las ventajas y limitaciones de cada una. A través de esta integración de hardware y software, se busca demostrar cómo las tecnologías emergentes pueden transformar tanto los procesos educativos como los industriales, promoviendo una educación más interactiva y eficiente. Este modelo se plantea como un elemento de aprendizaje que no solo recrea escenarios reales, sino que también impulsa la innovación y la resolución de problemas en el contexto industrial.

La investigación refuerza la importancia de utilizar sistemas virtuales en combinación con componentes físicos para enriquecer el aprendizaje práctico y mejorar la formación en áreas técnicas, contribuyendo así al desarrollo de competencias alineadas con las demandas de la Industria 4.0.

### **Desarrollo Del Experimento**

En la actualidad, la realidad virtual (VR) y los entornos tridimensionales (3D) se han posicionado como tecnologías emergentes clave en el ámbito educativo (Trefzger et al., 2024). Estas herramientas tienen el potencial de revolucionar la enseñanza superior en los próximos años, al integrar enfoques innovadores que transforman las metodologías tradicionales de aprendizaje. La influencia de los cambios tecnológicos es evidente en todos los aspectos de la sociedad, incluyendo la educación, donde los desarrollos científicos encuentran una rápida aceptación como herramientas didácticas. Estas tecnologías permiten enriquecer los procesos educativos, especialmente en áreas técnicas como la electrónica y la electricidad, donde la práctica es fundamental (Schenkluhn et al., 2024).

El aprendizaje de temas relacionados con la electrónica y la electricidad requiere una sólida comprensión de los conceptos teóricos y su aplicación práctica. La implementación de circuitos electrónicos en un entorno educativo exige que los estudiantes posean conocimientos previos sobre los componentes y su funcionamiento, ya que esto es crucial para alcanzar los objetivos de aprendizaje. En particular, las prácticas de laboratorio desempeñan un papel esencial en el desarrollo de habilidades prácticas, permitiendo a los estudiantes aplicar y consolidar su conocimiento teórico (Zheng et al., 2024).

El uso de simuladores en la educación técnica se ha consolidado como una alternativa eficaz para complementar el aprendizaje práctico. Estos simuladores permiten a los estudiantes visualizar circuitos electrónicos y otros componentes en entornos 3D, emulando dispositivos y sistemas electrónicos con un alto grado de precisión (Hidayat et al., 2024). Sin embargo, a pesar de sus ventajas, el uso de estas herramientas presenta ciertos desafíos. Uno de los problemas más comunes es la falta de familiaridad de los estudiantes con las interfaces del simulador, lo que dificulta su uso efectivo. Además, si los dispositivos electrónicos representados en el simulador

no cuentan con una descripción clara o guía de uso, el estudiante podría no aprovechar al máximo el potencial de estas herramientas.

Para abordar estas limitaciones y mejorar el aprendizaje en módulos de electrónica y electricidad, se propuso el desarrollo de un entorno virtual interactivo en Unity 3D, enfocado en la simulación y construcción de circuitos electrónicos. Este proyecto tiene como núcleo un sistema basado en una alarma con sensores láser, diseñado para emular un escenario industrial. El simulador no solo permite a los estudiantes visualizar el funcionamiento de un circuito electrónico en un entorno tridimensional, sino que también integra elementos interactivos que facilitan la comprensión de los componentes y su interconexión (Long et al., 2024).

El sistema propuesto incorpora un sensor de proximidad que detecta la entrada de un montacargas en áreas restringidas, activando una alarma visual y auditiva en tiempo real. Este circuito electrónico combina sensores, controladores y actuadores, simulando un sistema de seguridad industrial. Además, el simulador ofrece descripciones detalladas de cada componente electrónico utilizado, lo que permite a los usuarios aprender no solo cómo ensamblar el circuito, sino también comprender el propósito de cada elemento.

El proyecto también incluye una maqueta física que replica el circuito virtual, permitiendo una transición fluida entre el entorno digital y físico. Este enfoque dual ayuda a los estudiantes a desarrollar habilidades prácticas mientras interactúan con un entorno virtual seguro y controlado. Asimismo, la integración de hardware real, como microcontroladores Arduino y sensores láser, refuerza la conexión entre la teoría y la práctica, ofreciendo una experiencia educativa integral.

Este caso de estudio destaca cómo las tecnologías emergentes pueden superar las barreras tradicionales de la enseñanza técnica, proporcionando a los estudiantes herramientas que no solo mejoran su comprensión teórica, sino que también fortalecen sus habilidades prácticas en escenarios industriales simulados. El sistema propuesto se plantea como un modelo educativo que fomenta la innovación y prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos de la Industria 4.0.

### **Descripción del sistema**

El sistema presentado tiene como objetivo principal la enseñanza interactiva y práctica del desarrollo e identificación de componentes de un circuito electrónico, específicamente enfocado en un sensor de proximidad con alarma láser. Este entorno integra un diseño en gráficos 3D desarrollado utilizando Blender, junto con el motor de simulación Unity 3D, para crear un espacio inmersivo de aprendizaje que combina teoría, práctica y evaluación (Resch et al., 2024). El sistema está compuesto por tres módulos principales que trabajan de manera secuencial y complementaria para garantizar un aprendizaje integral:

### **Descripción General**

Este módulo introductorio proporciona al usuario una visión general del sistema de alarmas. Aquí, se detalla la función principal del sensor de proximidad y los componentes clave

que lo conforman, como el microcontrolador Arduino, los emisores láser, los receptores de luz y los actuadores (alarmas sonoras y visuales). El usuario puede explorar de forma interactiva las características de cada componente, su propósito dentro del sistema y cómo interactúan entre sí. Esta etapa es fundamental para establecer una base teórica antes de proceder a los módulos prácticos.

### **Ensamblaje**

Este módulo está diseñado para que el usuario adquiera conocimientos prácticos sobre la construcción del sistema. Se presenta un desglose detallado de las partes que conforman el circuito, como cables, sensores, resistencias, placas de desarrollo, entre otros. El usuario podrá interactuar con cada componente en un entorno 3D, comprendiendo su función y ubicación dentro del circuito. Además, se ofrece una guía paso a paso para ensamblar el sistema, fomentando la comprensión de las conexiones eléctricas y las configuraciones necesarias para el funcionamiento del sensor de proximidad.

**Armado del Sistema:** En esta subetapa, el usuario simula el montaje físico del circuito, conectando componentes en el orden correcto para garantizar un ensamblaje funcional. Este proceso fomenta el aprendizaje práctico y refuerza la memoria procedimental.

**Funcionamiento:** Una vez ensamblado el sistema, el usuario puede observar cómo los componentes interactúan entre sí y cómo el sensor de proximidad activa la alarma cuando se detecta un objeto en el área restringida. Esto permite verificar la funcionalidad del sistema y comprender su aplicación en escenarios industriales.

### **Evaluación**

En este módulo final, el usuario pone a prueba los conocimientos adquiridos a través de una serie de preguntas y retos interactivos relacionados con el sistema. Estas pruebas incluyen identificar componentes en el entorno virtual, realizar simulaciones adicionales del circuito y resolver problemas básicos relacionados con el diseño y la implementación. Este módulo tiene como objetivo evaluar el nivel de comprensión del usuario y su capacidad para aplicar lo aprendido en contextos reales.

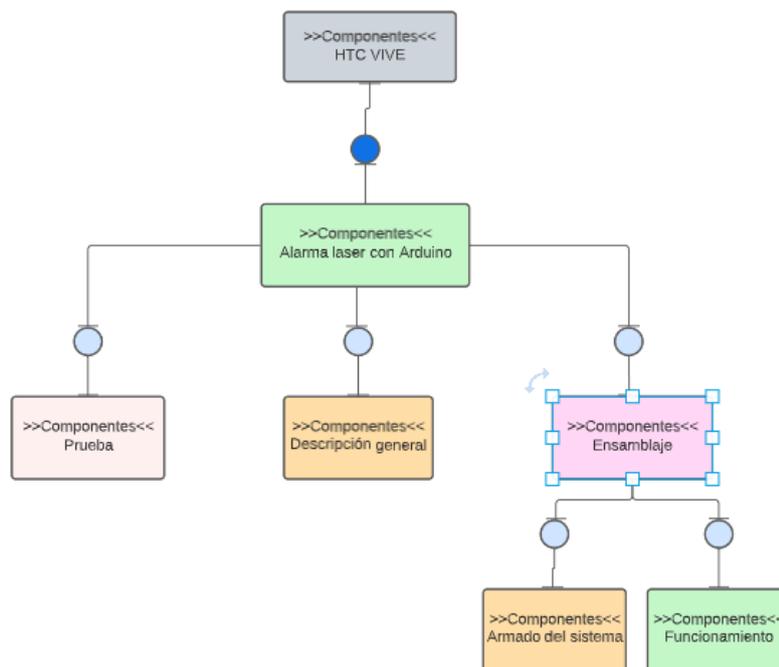
Cuando el usuario inicia la simulación, se encuentra inmerso en un entorno virtual diseñado específicamente para el aprendizaje tecnológico y electrónico. Este espacio recrea un escenario industrial, promoviendo una experiencia de aprendizaje envolvente que combina teoría y práctica. A través de la interacción con el sistema, el usuario no solo aprende conceptos teóricos fundamentales, sino que también desarrolla habilidades prácticas críticas para la implementación de circuitos electrónicos en entornos reales.

El diseño modular del sistema garantiza un flujo de aprendizaje progresivo, desde la familiarización con los conceptos básicos hasta la aplicación práctica y la evaluación. Además, el uso de tecnologías inmersivas como VR y gráficos 3D fomenta un aprendizaje interactivo,

atractivo y eficaz, preparando al usuario para enfrentar desafíos técnicos en contextos industriales modernos. Ver figura 1.

**Figura 1**

*Diagrama de componentes del sistema*



Al iniciar el sistema, el usuario se encontrará inmerso en un entorno virtual diseñado para facilitar la navegación e interacción. En esta primera etapa, se presenta un menú de inicio que actúa como el punto de partida para la simulación. Este menú es intuitivo y cuenta con dos iconos principales interactivos:

**Iniciar Simulación:** Permite al usuario acceder al entorno educativo, iniciando el flujo de aprendizaje a través de una serie de escenas diseñadas para guiarlo progresivamente en la comprensión y práctica del sistema de alarma láser con sensor de proximidad.

**Salir de la Simulación:** Ofrece la opción de abandonar el entorno de manera rápida y segura, preservando cualquier progreso o configuración realizada previamente por el usuario.

Cuando el usuario selecciona la opción de iniciar la simulación, se carga automáticamente una escena introductoria. En esta etapa inicial, se presenta un video explicativo que ofrece una descripción general y básica del sistema de alarma, sus componentes principales y su funcionamiento. Esta introducción está diseñada para proporcionar un marco teórico esencial, asegurando que el usuario comprenda los fundamentos del sistema antes de pasar a las secciones prácticas.

El video introductorio está integrado de manera interactiva, permitiendo al usuario visualizarlo tantas veces como considere necesario para reforzar su comprensión. Además, cuenta con controles intuitivos que permiten pausar, retroceder o repetir el contenido según las necesidades individuales del usuario. Una vez que el usuario se sienta preparado, puede

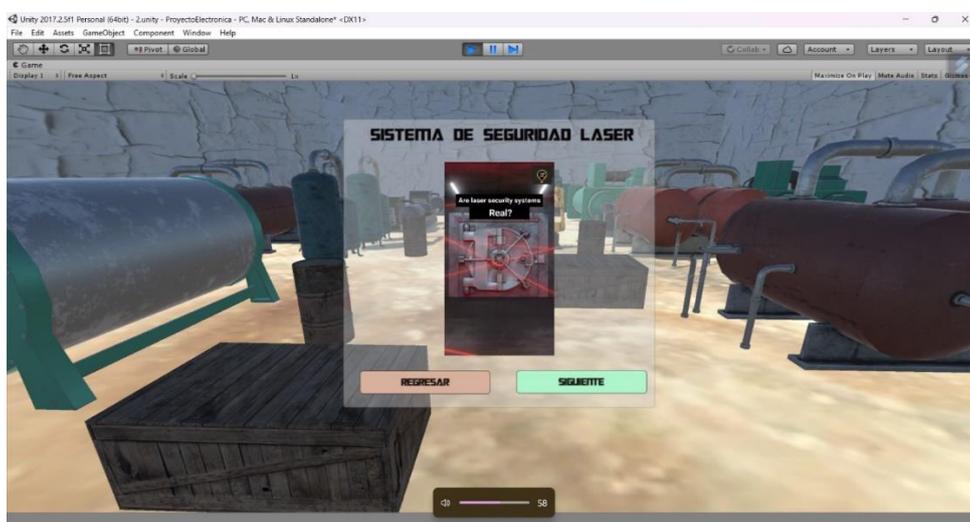
interactuar con el botón de siguiente para avanzar a la siguiente escena, donde comenzará a explorar los módulos prácticos y experimentales del sistema.

El diseño del menú y la escena introductoria están cuidadosamente optimizados para garantizar una experiencia inmersiva y accesible, incluso para usuarios sin experiencia previa en simulaciones de realidad virtual. Además, el entorno es visualmente atractivo, con elementos gráficos que recrean un entorno tecnológico moderno, reforzando la motivación y el compromiso del usuario desde el inicio.

La estructura modular de esta etapa inicial asegura que el usuario tenga una base sólida antes de interactuar con los componentes del sistema. Esto no solo mejora la experiencia de aprendizaje, sino que también minimiza posibles confusiones durante las siguientes etapas prácticas, asegurando un flujo educativo continuo y efectivo. La flexibilidad para repetir el contenido introductorio garantiza que cada usuario pueda avanzar a su propio ritmo, promoviendo una experiencia de aprendizaje personalizada y adaptable.

Esta fase inicial, ilustrada en la figura 2, destaca la importancia de proporcionar un contexto claro y accesible antes de sumergir al usuario en la simulación interactiva, estableciendo un balance entre teoría y práctica para maximizar el aprendizaje.

**Figura 2**  
*Introducción al sistema*



Después de la introducción inicial, el sistema transporta al usuario a una nueva escena diseñada específicamente para familiarizarlo con los componentes fundamentales necesarios para el ensamblaje del sistema de alarma. Este entorno interactivo presenta una pantalla central en la que se visualizan los ocho iconos que representan los elementos clave del circuito: Arduino, protoboard, fotocelda, resistencia, módulo láser, módulo buzzer, cables y LED. Cada uno de estos elementos desempeña un papel crítico en el funcionamiento del sistema, y el objetivo de esta

etapa es asegurar que el usuario comprenda sus características y funciones antes de proceder al ensamblaje práctico.

Cada icono está diseñado para ser completamente interactivo. Al pulsar sobre un icono, se despliega automáticamente una descripción básica del componente seleccionado. Esta descripción incluye información como:

- Nombre del Componente: Identificación clara del elemento.
- Función Principal: Explicación breve de su propósito dentro del circuito.
- Especificaciones Técnicas: Parámetros clave como valores de resistencia, voltaje, corriente o características específicas del módulo.
- Ejemplo de Aplicación: Descripción de cómo se utiliza el componente en un circuito real.

Por ejemplo, al seleccionar el icono del Arduino, se muestra una descripción que detalla que este es un microcontrolador utilizado para controlar el flujo de señales electrónicas en el sistema, especificando su capacidad para interactuar con sensores y actuadores. Similarmente, al pulsar sobre el módulo láser, se explica su rol como emisor de luz para la detección en el sistema de proximidad.

El diseño interactivo permite al usuario explorar cada componente en el orden que desee, proporcionando una experiencia de aprendizaje personalizada y autónoma. Además, esta fase garantiza que incluso los usuarios con conocimientos técnicos limitados puedan comprender los elementos básicos antes de avanzar.

Una vez que el usuario ha explorado y comprendido todos los componentes, puede seleccionar el icono de siguiente para avanzar a la siguiente escena de ensamblaje. Este botón está diseñado para asegurar que el usuario haya completado la exploración de los componentes antes de proceder, reforzando la adquisición de conocimientos previos. Al seleccionar siguiente, el sistema carga una nueva escena donde el usuario podrá realizar la práctica interactiva de ensamblaje del circuito.

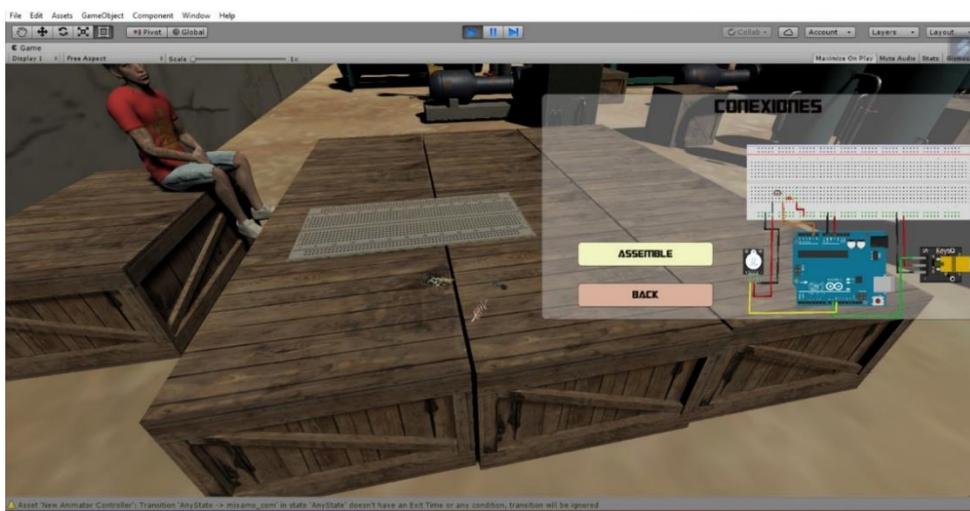
En esta etapa, el usuario observará cómo el circuito propuesto se ensambla paso a paso mediante un sistema interactivo. A través de un botón de verificación, el usuario puede visualizar el proceso de montaje, que incluye:

- Colocación de componentes en la protoboard siguiendo un esquema lógico.
- Conexión de cables entre los componentes para asegurar la funcionalidad del circuito.
- Integración de los módulos (láser, buzzer, fotocelda) en posiciones específicas según el diseño del sistema de alarma.

Cada paso está acompañado de animaciones y descripciones que guían al usuario en el ensamblaje, destacando la importancia de cada conexión y configuración. Este enfoque permite al usuario no solo observar, sino también participar activamente en la construcción del circuito en un entorno seguro y controlado.

El propósito de esta escena es proporcionar al usuario una comprensión clara y práctica de cómo ensamblar un circuito de alarma utilizando los componentes básicos. La interacción con los iconos y la visualización del ensamblaje paso a paso aseguran que el usuario adquiera habilidades técnicas esenciales, preparándolo para aplicar estos conocimientos tanto en el entorno virtual como en escenarios reales. La figura 3 ilustra esta etapa, destacando cómo el usuario interactúa con los elementos del circuito y se prepara para el ensamblaje práctico, asegurando un flujo de aprendizaje progresivo y efectivo.

**Figura 3**  
*Ensamblaje del sistema*



En esta etapa de la simulación, el usuario interactúa directamente con el entorno industrial diseñado en Unity, utilizando un montacargas virtual que puede ser manipulado mediante el teclado. Este escenario permite al usuario experimentar de manera práctica cómo el sistema de alarma responde a situaciones específicas, simulando un entorno industrial realista y funcional. El movimiento del montacargas se controla mediante las teclas W, A, S, D, permitiendo avanzar, retroceder y girar a los lados. Este sistema de control ha sido diseñado para ser intuitivo y de fácil manejo, asegurando que el usuario pueda concentrarse en la interacción con el entorno y en la respuesta del sistema, en lugar de lidiar con una curva de aprendizaje pronunciada en el manejo de los controles.

El sistema de alarma está configurado con un límite virtual que actúa como una zona restringida, definida por un láser invisible. Este límite está conectado al sistema de detección que permanece en estado de espera mientras el montacargas se mueve fuera de la zona restringida. Sin embargo, al cruzar el límite, el sistema de alarma se activa de manera inmediata, generando respuestas tanto visuales como auditivas para alertar al usuario. En términos visuales, aparece un mensaje en la pantalla indicando "ALARMA ACTIVADA" en color rojo, altamente visible, que advierte sobre la infracción del área permitida. Paralelamente, el módulo buzzer integrado en el

sistema virtual emite un sonido de alarma, recreando con precisión la funcionalidad esperada en un entorno industrial real.

El propósito de esta simulación es enseñar al usuario la interacción práctica entre sensores, controladores y actuadores en un sistema de seguridad industrial. Al permitir que el usuario observe cómo los componentes trabajan de manera coordinada para detectar una situación crítica, como la entrada no autorizada de un montacargas en una zona restringida, la simulación refuerza conceptos técnicos fundamentales. A su vez, la experiencia práctica ayuda a desarrollar habilidades en la configuración y diseño de circuitos, destacando la importancia de la sensibilidad del sensor, la precisión del controlador Arduino y el tiempo de respuesta del sistema.

La simulación se desarrolla en un entorno visualmente inmersivo que incluye maquinaria industrial, contenedores y un espacio delimitado, recreando un contexto realista que aumenta la relevancia del aprendizaje para aplicaciones prácticas en la industria. Este entorno no solo facilita la comprensión técnica del sistema, sino que también ofrece al usuario una experiencia de aprendizaje segura y controlada, en la que es posible cometer errores y aprender de ellos sin consecuencias reales. La figura 4 ilustra con claridad el momento en que el montacargas cruza el límite restringido y se activa el sistema de alarma, resaltando tanto la configuración del entorno como la respuesta visual de advertencia. Este escenario proporciona una representación gráfica del funcionamiento del sistema, destacando su aplicabilidad en un contexto industrial.

**Figura 4**  
*Activación de alarma*



Tras completar la etapa de interacción con el sistema de alarma y haber experimentado de manera práctica cómo los componentes trabajan en conjunto para detectar y responder a eventos críticos, el usuario será transportado a un entorno educativo diseñado para evaluar sus conocimientos adquiridos. En esta fase, el usuario será expuesto a un cuestionario interactivo compuesto por 10 preguntas cuidadosamente diseñadas y validadas por expertos en electrónica, programación y sistemas de seguridad industrial. Estas preguntas están estructuradas para abarcar tanto los aspectos teóricos como prácticos del sistema, asegurando una evaluación integral de los conceptos clave.

Cada pregunta presenta opciones múltiples y está acompañada de un diseño visual interactivo que mantiene al usuario inmerso en el entorno educativo. Al seleccionar una respuesta correcta, el sistema no solo confirma la elección, sino que también proporciona una explicación detallada y fundamentada, reforzando el aprendizaje. Este mecanismo asegura que el usuario no solo valide lo que ha aprendido, sino que también comprenda por qué esa es la respuesta correcta, estableciendo conexiones más sólidas entre los conceptos teóricos y su aplicación práctica. Las explicaciones incluyen detalles técnicos relevantes y ejemplos que refuerzan la importancia de cada aspecto evaluado en un contexto real.

En caso de seleccionar una respuesta incorrecta, el sistema bloquea el avance del usuario, permitiéndole reflexionar sobre su elección antes de intentar nuevamente. Este enfoque garantiza que el aprendizaje sea significativo y que el usuario comprenda plenamente cada concepto antes de progresar. Al requerir la respuesta correcta para avanzar, el sistema fomenta un aprendizaje profundo y asegura que el usuario esté preparado para aplicar los conocimientos adquiridos en escenarios reales. Este entorno educativo, combinado con el uso de retroalimentación inmediata y explicaciones detalladas, representa una herramienta poderosa para consolidar el aprendizaje y preparar al usuario para enfrentar desafíos técnicos y prácticos en el ámbito industrial.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La evaluación de la experiencia del usuario es un componente crucial en el desarrollo de sistemas educativos interactivos, especialmente aquellos basados en tecnologías emergentes como la realidad virtual y la simulación 3D. Para esta investigación, se utilizó el System Usability Scale (SUS), una metodología reconocida y ampliamente aceptada a nivel mundial para medir la usabilidad de sistemas y productos interactivos. El SUS es una técnica estándar que ha demostrado ser efectiva debido a su simplicidad, facilidad de aplicación y robustez en diversos contextos tecnológicos (Lin et al., 2024).

El System Usability Scale se basa en un cuestionario de diez ítems con una escala de Likert de cinco puntos, que abarca desde "totalmente en desacuerdo" hasta "totalmente de acuerdo". Este cuestionario permite recopilar de manera sistemática las percepciones de los usuarios sobre la usabilidad del sistema, evaluando aspectos como la facilidad de uso, la coherencia en el diseño, la eficiencia en el cumplimiento de tareas y la satisfacción general del usuario. Cada respuesta se puntúa y se calcula una puntuación final que varía entre 0 y 100, donde un puntaje superior a 68 se considera aceptable, mientras que valores más altos indican niveles crecientes de usabilidad percibida (Li et al., 2024).

En el caso del sistema desarrollado para la enseñanza y práctica de conceptos electrónicos, se aplicó el SUS a un grupo representativo de usuarios que interactuaron con el entorno virtual y completaron todas las etapas del programa, desde la introducción inicial hasta el cuestionario final. El análisis de los resultados arrojó una puntuación promedio de 78, lo cual indica que el

sistema posee una buena usabilidad general, superando el umbral de aceptación y posicionándose como un entorno adecuado para el aprendizaje interactivo. Sin embargo, esta calificación también sugiere que existe un margen significativo para mejoras en ciertos aspectos clave.

Un puntaje de 78 en el SUS refleja que la mayoría de los usuarios consideraron el sistema intuitivo y funcional, con una curva de aprendizaje relativamente baja para dominar los controles del montacargas y navegar entre las diferentes etapas del programa. Además, los participantes destacaron la claridad de las explicaciones proporcionadas tras completar cada pregunta del cuestionario final, así como la efectividad del diseño visual del entorno educativo. Estos factores contribuyen a que el sistema sea percibido como una herramienta útil para el aprendizaje práctico y teórico en el campo de la electrónica.

Sin embargo, la puntuación también revela áreas que requieren atención. Por ejemplo, algunos usuarios señalaron dificultades menores en la navegación inicial y en la interacción con ciertos elementos del entorno, como los iconos de selección de componentes o las respuestas al cuestionario. Estos comentarios sugieren que una optimización en la interfaz de usuario podría mejorar significativamente la experiencia, especialmente para usuarios sin experiencia previa en simulaciones virtuales. Otro aspecto a considerar es la incorporación de una retroalimentación más dinámica y visual durante la etapa de ensamblaje, que podría reforzar aún más el aprendizaje y hacerlo más atractivo.

La elección del SUS como metodología de evaluación fue estratégica, dado que es una herramienta fácil de implementar y ampliamente reconocida en la investigación de usabilidad. Además, permite obtener una visión general rápida y confiable de la percepción del usuario, lo que la convierte en la técnica ideal para proyectos educativos con componentes tecnológicos. Su capacidad para identificar fortalezas y debilidades del sistema ofrece a los desarrolladores una base sólida para realizar mejoras iterativas, asegurando que el sistema evolucione para satisfacer mejor las necesidades de los usuarios.

En términos técnicos, el puntaje obtenido es alentador, ya que coloca al sistema en un rango superior al promedio general de usabilidad para sistemas interactivos, pero también deja claro que existen oportunidades de mejora. Estas mejoras podrían centrarse en optimizar la interfaz de usuario, reducir posibles barreras en la navegación y aumentar la personalización del contenido educativo para adaptarse a diferentes niveles de experiencia de los usuarios. Este enfoque no solo mejorará la percepción del sistema, sino que también incrementará su eficacia como herramienta educativa en escenarios reales.

La aplicación del System Usability Scale permitió evaluar de manera estructurada y objetiva la experiencia del usuario con el sistema desarrollado. Con una puntuación de 78, se confirma que el programa tiene una base sólida y es percibido como útil y funcional, pero también cuenta con un amplio margen de mejora para alcanzar niveles más altos de excelencia en usabilidad y efectividad educativa. Este resultado refuerza la importancia de realizar evaluaciones

periódicas y de implementar mejoras continuas, asegurando que el sistema no solo cumpla, sino que supere las expectativas de sus usuarios en el futuro.

## CONCLUSIONES

El desarrollo y evaluación del sistema educativo interactivo basado en realidad virtual y simulación 3D para la enseñanza de electrónica y sistemas de seguridad industrial representan un avance significativo en la aplicación de tecnologías emergentes en el ámbito educativo. Este proyecto ha demostrado que es posible integrar componentes teóricos y prácticos en un entorno virtual inmersivo, logrando una experiencia de aprendizaje atractiva y efectiva. La implementación del circuito de alarma láser y su simulación en Unity proporcionaron a los usuarios una herramienta útil para entender conceptos técnicos complejos y aplicarlos en un contexto realista.

El uso del System Usability Scale (SUS) para evaluar la experiencia del usuario arrojó resultados positivos, con una puntuación promedio de 78. Esto confirma que el sistema es percibido como intuitivo, funcional y adecuado para su propósito educativo. Los usuarios destacaron la claridad en las explicaciones, la fluidez de las interacciones y la capacidad del sistema para simular de manera realista un entorno industrial. Sin embargo, este puntaje también resalta áreas que requieren mejoras, como la optimización de la interfaz de usuario y la incorporación de retroalimentación más dinámica en etapas críticas como el ensamblaje del circuito. Estas áreas de mejora deben abordarse en futuras iteraciones para maximizar la usabilidad y la eficacia del sistema.

Uno de los logros más importantes de este proyecto es la capacidad del sistema para promover un aprendizaje significativo mediante la combinación de simulación virtual y evaluación interactiva. La inclusión de un cuestionario validado por expertos, que no solo evalúa el conocimiento, sino que también refuerza conceptos clave con explicaciones detalladas, demuestra la efectividad de integrar técnicas pedagógicas con tecnologías avanzadas. Esto no solo fomenta la adquisición de habilidades técnicas, sino que también prepara a los usuarios para enfrentar desafíos reales en el ámbito industrial.

A nivel técnico, el proyecto evidencia la viabilidad de utilizar herramientas como Unity 3D y Arduino para crear sistemas educativos que combinen entornos virtuales y físicos. La sincronización entre la simulación y los elementos reales refuerza la conexión entre teoría y práctica, brindando a los usuarios una experiencia educativa integral. Este enfoque tiene un gran potencial para ser replicado en otras áreas de enseñanza técnica, ampliando su impacto en diferentes disciplinas.

El sistema desarrollado constituye una herramienta innovadora y efectiva para la enseñanza de electrónica y sistemas industriales, marcando un importante paso hacia la integración de tecnologías emergentes en la educación. Si bien el sistema cumple con sus objetivos iniciales, el

análisis de usabilidad resalta la importancia de realizar mejoras continuas para alcanzar niveles más altos de excelencia. Con una base sólida establecida, este proyecto tiene el potencial de evolucionar y convertirse en un referente en el diseño de sistemas educativos interactivos basados en tecnología. La combinación de simulación virtual, interactividad y evaluación estructurada se posiciona como un modelo prometedor para transformar la educación técnica en el futuro.

### **Agradecimientos**

Los autores desean expresar su más profundo agradecimiento a la red de investigación INTELIA, respaldada por REDU, por su invaluable apoyo y colaboración a lo largo del desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Burguillo, M., del Río, P., & Juez-Martel, P. (2025). How have the COVID pandemic and the war in Ukraine affected energy poverty? *Applied Energy*, 377, 124690. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124690>
- Goli, A. (2024). Efficient optimization of robust project scheduling for industry 4.0: A hybrid approach based on machine learning and meta-heuristic algorithms. *International Journal of Production Economics*, 278, 109427. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109427>
- He, Y., Zhang, H., & Liu, H. (2024). Exploration and practice of constructing electric power cloud training system based on virtual reality technology. In P. Siano & W. Zhao (Eds.), *Ninth International Symposium on Advances in Electrical, Electronics, and Computer Engineering (ISAEECE 2024)* (p. 202). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3034222>
- Hidayat, H., M. Tanucan, J. C., Harmanto, D., Dewi, F. K., Dewi, I. P., Anori, S., & Agustiarimi, W. (2024). The Influence of Augmented Reality Mobile App on Electronics Engineering Students' Self-Competence. *TEM Journal*, 2310–2318. <https://doi.org/10.18421/TEM133-58>
- Li, Q., Zhao, J., Yan, R., Gao, Q., Zhen, Y., Li, X., Liang, Y., Min, S., & Yang, L. (2024). WeChat mini program in laboratory biosafety education among medical students at Guangzhou Medical University: a mixed method study of feasibility and usability. *BMC Medical Education*, 24(1), 305. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05131-9>
- Lin, H.-P., Xu, Y., Zhang, X., Woolley, D., Zhao, L., Liang, W., Huang, M., Cheng, H., Zhang, L., & Wenderoth, N. (2024). A usability study on mobile EMG-guided wrist extension training in subacute stroke patients-MyoGuide. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01334-9>
- Long, X., Mayer, S., & Chiossi, F. (2024). Multimodal Detection of External and Internal Attention in Virtual Reality using EEG and Eye Tracking Features. *Proceedings of Mensch Und Computer 2024*, 29–43. <https://doi.org/10.1145/3670653.3670657>
- Resch, S., Tiwari, R. B., Vankawala, H. R., Singh, P., Rafati, M., Schwind, V., Völz, D., & Sanchez-Morillo, D. (2024). The Impact of Visual Feedback and Avatar Presence on Balance in Virtual Reality. *Proceedings of Mensch Und Computer 2024*, 555–559. <https://doi.org/10.1145/3670653.3677472>
- Schenkluhn, M., Schulz, T., & Weinhardt, C. (2024). Xperisight: Parallelizing Extended Reality Studies Without Losing Control. *Proceedings of Mensch Und Computer 2024*, 485–490. <https://doi.org/10.1145/3670653.3677480>
- Shi, S., Shi, S., & Wang, B. (2024). Construction of a Smart Learning Platform for Kindergarten Preschool Education Empowered by Digital VR Technology. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1). <https://doi.org/10.2478/amns-2024-2650>

- Tao, Y., Fan, J., & Shang, J. (2024). Gesture recognition using elastic data glove based on FFT-BIGRU. In P. Siano & W. Zhao (Eds.), *Ninth International Symposium on Advances in Electrical, Electronics, and Computer Engineering (ISAEECE 2024)* (p. 68). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3033510>
- Trefzger, M., Raschke, M., Fath, M., & Eckart, J. (2024). What does it Take to Test a Bicycle Simulator for Realism? A Discussion of the Challenges and Possible Evaluation Methods. *Proceedings of Mensch Und Computer 2024*, 461–465. <https://doi.org/10.1145/3670653.3677491>
- Wu, G., Chen, Z., & Dang, J. (2024). *Intelligent Bridge Maintenance and Management*. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-97-3827-4>
- Zhao, Q., Liu, J., Ma, Y., Sun, Z., Chang, Q., & Yu, Y. (2024). Research on electric power fire safety system based on virtual reality technology. In P. Siano & W. Zhao (Eds.), *Ninth International Symposium on Advances in Electrical, Electronics, and Computer Engineering (ISAEECE 2024)* (p. 65). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3033507>
- Zheng, P., Yang, J., Lou, J., & Wang, B. (2024). Design and application of virtual simulation teaching platform for intelligent manufacturing. *Scientific Reports*, 14(1), 12895. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62072-5>