

## **CircuitAR: Ambiente inteligente de realidad aumentada para aprendizaje de circuitos eléctricos**

Ramón Zatarain Cabada, María Lucía Barrón Estrada,  
Aldo Uriarte Portillo, Luis Marcos Plata Delgado

Instituto Tecnológico de Culiacán,  
México

{ramon.zc, lucia.be, aldo.up}@culiacan.tecnm.mx,  
luis\_plata@itculiacan.edu.mx

**Resumen.** Desde que se estudian las ciencias exactas y la ingeniería, ha existido dificultad para llevar a cabo un aprendizaje efectivo en los temas abstractos y complejos que estas áreas del conocimiento incluyen, afectando la motivación de los estudiantes. Hoy en día, existen muchos sistemas que utilizan la tecnología como medio para gestionar el aprendizaje, sin embargo, no se están aprovechando todas las herramientas disponibles para captar de mejor manera la atención de los estudiantes, así como facilitar la comprensión de la gran variedad de temas abstractos que forman parte de diversas áreas del conocimiento. El trabajo aquí presentado pretende contribuir a la enseñanza del tema “Circuitos eléctricos”, facilitando el aprendizaje y la comprensión gracias a las capacidades de visualización e interacción en tiempo real que ofrece la tecnología de la realidad aumentada, además adaptándose al ritmo de aprendizaje de cada estudiante utilizando técnicas de inteligencia artificial.

**Palabras clave:** Realidad aumentada, lógica difusa, aprendizaje móvil, ambientes inteligentes de aprendizaje.

### **CircuitAR: Intelligent Augmented Reality Environment for Learning Electrical Circuits**

**Abstract.** Ever since basic sciences and engineering have been studied, there has been tough carrying out effective learning in the abstract and complex topics that these areas of knowledge include, affecting student motivations. Nowadays, many systems use technology as a platform to manage learning, however, not all available tools are being used to achieve the attention of the students, as well as facilitate the understanding of the great variety of abstract topics that are part of these areas of knowledge. The work presented here aims to contribute to the teaching of the topic "Electrical Circuits", facilitating learning and understanding by using real-time visualization and interaction capabilities offered by augmented reality technology, and also by adapting to the learning pace of each student using artificial intelligence techniques.

**Keywords:** Augmented reality, fuzzy logic, mobile learning, intelligent learning environments.

## 1. Introducción

En los últimos años, se ha incrementado el uso de nuevas tecnologías dirigidas a mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje de los estudiantes, principalmente en las Ciencias, Tecnologías, Ingeniería y Matemáticas (STEM por sus siglas en inglés) para todos los niveles educativos (desde preescolar hasta posgrados), ya sea como actividad de clase o como actividad complementaria [1]. El ser humano cada día usa con mayor frecuencia dispositivos móviles que le permite realizar diversas actividades durante el día, siendo los teléfonos inteligentes los dispositivos que presentan mayor frecuencia de uso [12].

Este aumento de demanda en el uso de teléfonos inteligentes, y la creciente capacidad de cómputo de dichos dispositivos, ha facilitado la integración de tecnologías, tales como los ambientes virtuales tridimensionales, la realidad virtual y la realidad aumentada, las cuales han demostrado ser eficaces para promover el aprendizaje [4]. La realidad aumentada (RA) es una tecnología que complementa la percepción del mundo real de los usuarios a través de una capa contextual de información tridimensional [2], dando al usuario la posibilidad de una interacción en tiempo real con los elementos digitales presentados, brindando al usuario la posibilidad de visualizar elementos abstractos y complejos, difíciles de imaginar.

Por otra parte, la inteligencia artificial ha impactado diversas áreas, y la educación no es la excepción, ya sea al aplicar visión por computadora para evaluar tareas o artículos, evaluar a estudiantes y maestros a través de métodos de aprendizaje adaptativos o enfoques de aprendizaje personalizados, o crear ambientes de aprendizaje interactivos a través de reconocimiento facial, laboratorios virtuales, realidad aumentada o virtual [13].

La principal contribución de este trabajo es el diseño e implementación de un entorno de aprendizaje que, basado en la tecnología de realidad aumentada, apoya a que los estudiantes de ingeniería complementen su proceso de aprendizaje en un tema complejo y de alto nivel de abstracción que es el de circuitos eléctricos. Para lograrlo, se ha combinado la RA con un sistema de lógica difusa, con el fin de guiar al estudiante de manera personalizada a solucionar los diferentes ejercicios que se le presenten, superponiendo información acerca del ejercicio por medio de modelos 3D para representar a los componentes de los circuitos electrónicos y con ello fomentar el aprendizaje activo.

Este artículo está organizado de la siguiente forma: En la sección 2 se presentan los trabajos relacionados acerca del uso de la realidad aumentada en la educación y de lógica difusa aplicada a entornos educativos; en la sección 3 se plantea y se explica la estructura del entorno de aprendizaje; en la sección 4 se presentan los resultados obtenidos de la implementación de la aplicación con estudiantes; y finalmente, en la sección 5 se abordan las conclusiones y se plantean los trabajos futuros.

## 2. Trabajos relacionados

En esta sección se presentan los trabajos relacionados dentro de la RA enfocados en el aprendizaje de las STEM, y de trabajos que usen lógica difusa centrada en el aprendizaje.

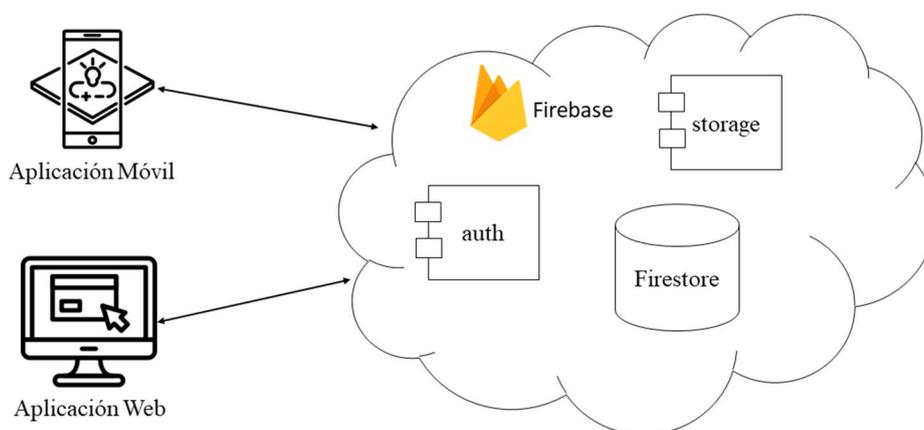


Fig. 1. Arquitectura general de la herramienta de aprendizaje.

Dentro de los trabajos en el área de realidad aumentada enfocados en el ámbito educativo, los trabajos se orientan en mejorar la motivación y la habilidad espacial del estudiante. En el trabajo de Liao et al. [3], se desarrolló un sistema asistente para resolver un cubo de Rubik utilizando realidad aumentada, mostrando pistas y ayudas en el proceso de solución y examinando los efectos en términos de la mejora de los estudiantes, y aprendiendo conceptos de volumen y superficie de cuerpos geométricos.

En el trabajo de [6] (Rossano et al), los autores diseñaron geo+, una aplicación orientada a la solución de problemas de geometría en niños de primaria, destacando la facilidad de uso, habilidades espaciales y la ganancia de aprendizaje de los estudiantes. Por otra parte, en [7], los autores crearon una aplicación orientada a aumentar la eficiencia del aprendizaje con base en leyes de física aplicadas en un laboratorio, facilitando así la formación y las actividades cognitivas de los estudiantes, y mejorando la calidad de la adquisición de conocimientos, promoviendo el interés en un tema y el desarrollo de habilidades de investigación.

Ibáñez et al. [4], presentó una revisión del estado del arte en la realidad aumentada, revisando 28 aplicaciones que utilizan esta tecnología para fomentar el aprendizaje STEM, clasificándolos y haciendo un análisis de las mediciones que toman. Una conclusión es que los estudios de los trabajos presentados miden principalmente parámetros afectivos y cognitivos de los estudiantes a través de experimentos transversales, y que existe una necesidad de diversificar las medidas para obtener una comprensión más profunda que vaya más allá de ayudar a recordar hechos y contenido.

En otro trabajo de Ibáñez et al. [11], se evalúa la adquisición de conocimientos de estudiantes en el tema de “electromagnetismo”, comparando estudiantes que usan una plataforma Web contra estudiantes que usan una aplicación móvil usando realidad aumentada. En este trabajo se miden variables relacionadas al flujo de aprendizaje de los estudiantes, concluyendo que los estudiantes que usaron la aplicación de realidad aumentada tuvieron una mayor satisfacción de uso, pero que había aspectos a mejorar en cuanto a la usabilidad en la misma.

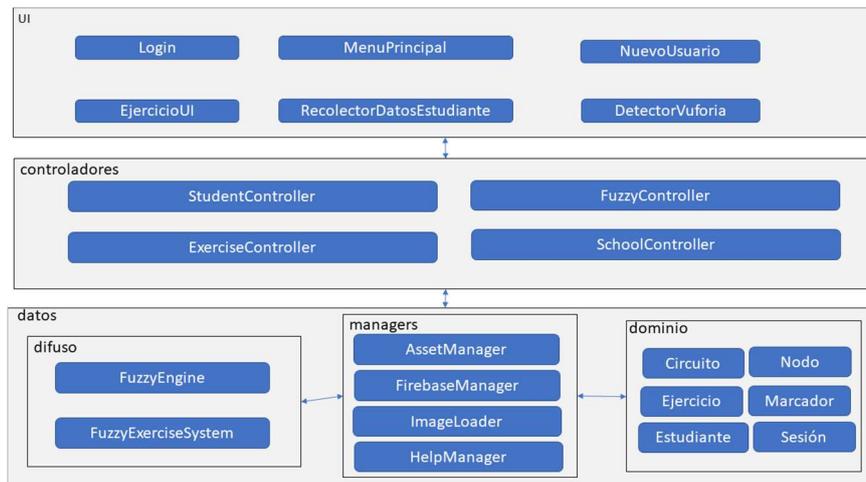


Fig. 2. Arquitectura de aplicación móvil denominada CircuitAR.

Por otra parte, existen también trabajos donde se implementan modelos de lógica difusa para evaluar diferentes aspectos del estudiante en sistemas de aprendizaje. Ozdemir et al. [8] propone determinar el efecto de un juego móvil en la actitud de estudiantes de ingeniería utilizando lógica difusa y variaciones del mismo modelo, concluyendo que para situaciones donde la situación es incierta y para evaluar emociones y pensamientos, la lógica difusa es una técnica efectiva.

Rathore y Jayanthi [14], utilizan un sistema de inferencia difuso para predecir colocación de estudiantes en una escuela utilizando hojas de cálculo y Matlab, y eligiendo la lógica difusa debido a la gran cantidad de datos y variables involucradas, logrando predecir y analizar grandes conjuntos de estudiantes.

En otro estudio, K. O. Gogo et al. [15] desarrollan un modelo que recomienda contenido de aprendizaje relevante a estudiantes, empleando un enfoque de conocimiento del contexto para obtener datos relacionados al estudiante, para después utilizar un modelo de lógica difusa para recomendar contenido de aprendizaje tomado de una base de datos de contenido de libros, tutoriales y videos, consiguiendo reducir el tiempo en el que un estudiante logra obtener contenido de aprendizaje de acuerdo a su nivel de dominio de un tema.

Finalmente, Karaci [9] propone un sistema tutor inteligente que usa lógica difusa para detectar errores mientras los estudiantes hacen cuestionarios, creando un modelo que le permite elegir de manera personalizada las siguientes preguntas que se le plantearan, mejorando el desempeño global de los estudiantes.

### 3. Estructura del entorno de aprendizaje

CircuitAR es una herramienta de aprendizaje centrada en la solución de problemas de la Ley de Ohm, enfocado al aprendizaje de circuitos eléctricos en estudiantes de primer grado de Ingeniería. CircuitAR le brinda al estudiante elementos



Fig. 3. Interfaz gráfica de CircuitAR.

tridimensionales que le permiten visualizar su forma física, su descripción y la composición del circuito eléctrico usando baterías y resistencias.

Para el desarrollo de CircuitAR, se utilizó una metodología para desarrollo de software de enfoque iterativo e incremental [16], en el cual los requerimientos más importantes son desarrollados en una primera versión de software, y versiones posteriores son liberadas para cumplir los otros requerimientos, permitiendo tomar en cuenta la retroalimentación de las versiones anteriores. El entorno de aprendizaje está integrado por la aplicación móvil y la aplicación web, las cuales se describirán en la siguiente subsección.

### 3.1. Arquitectura

CircuitAR es una herramienta de aprendizaje desarrollada en Unity 2020 para dispositivos Android, que implementa Vuforia para la RA, y Firebase para la persistencia de datos. Como complemento, se desarrolló CircuitWeb, una aplicación web que se encarga de gestionar toda la información generada por la interacción de los estudiantes, así como para la descarga de los marcadores.

En la Figura 1 se puede apreciar la arquitectura de la plataforma desde la vista más general. Se puede apreciar en la Figura 1 que la plataforma contiene 2 clientes principales: la aplicación móvil de CircuitAR y la aplicación CircuitWeb. Estos 2 clientes realizan peticiones a Google Firebase, que ofrece diferentes servicios para el desarrollo de plataformas en la nube. Los servicios utilizados son:

- Auth: Registro y autenticación de estudiantes.
- Storage: Almacenamiento de marcadores.
- Firestore: Base de datos NoSQL orientada a documentos. Se utiliza para el almacenamiento de los datos de los estudiantes, ejercicios, marcadores y exámenes aplicados.



Fig. 4. Marcadores convertidos a modelos 3D.

En la Figura 2 se muestra la arquitectura de la aplicación móvil CircuitAR, con sus capas y componentes que la conforman. A continuación, se describen los componentes que integran CircuitAR.

La capa datos contiene componentes que realizan tareas de comunicación con Firebase a través de FirebaseManager, cuya función es administrar, almacenar y obtener los datos necesarios para que el estudiante complete los ejercicios propuestos. ImageLoader obtiene los archivos alojados en dicha plataforma. Toda esta interacción se dará a través de objetos del componente dominio.

Dentro del componente difuso, FuzzyExerciseSystem y FuzzyEngine se encargan de tomar los datos de desempeño del estudiante y aplicar las reglas del modelo difuso. La capa controladores contiene componentes que reciben peticiones de la capa UI, ya sea solicitando o enviando información. Su función es orquestar y organizar la lógica de la aplicación. Esto aplica para cada uno de los módulos de la aplicación, siendo estos: estudiante (StudentController), ejercicios (ExerciseController), escuelas (SchoolController) y el módulo de lógica difusa (FuzzyController).

La capa UI contiene scripts de Unity que muestran al usuario las interfaces gráficas a través de las cuales el estudiante se registra y se autentifica en el sistema. EjercicioUI es el componente con el que el estudiante realiza los ejercicios. Éste se apoya en DetectorVuforia para poder llevar a cabo la realidad aumentada y en RecolectorDatosEstudiante para obtener información acerca de cómo el estudiante está desempeñándose mientras realiza los ejercicios.

### 3.2. Realidad aumentada

En la capa UI, se encuentra el componente **EjercicioUI**, que usa la cámara del dispositivo móvil para poder llevar a cabo la realidad aumentada. Utilizando a **DetectorVuforia** para interpretar la imagen de esta misma y combinando la realidad con elementos virtuales para cada uno de los ejercicios propuestos por la plataforma, la aplicación mostrará un circuito eléctrico incompleto, así como elementos de interfaz gráfica que sirvan al alumno como apoyo didáctico. Ejemplos de estos elementos son

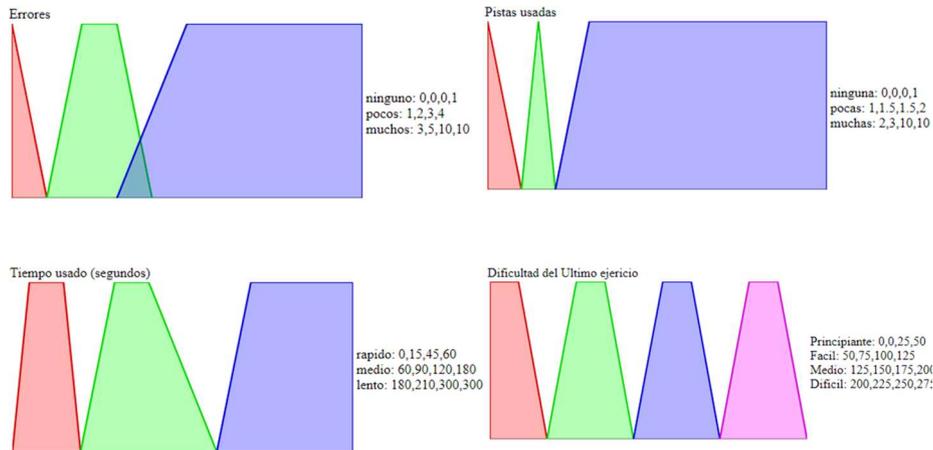


Fig. 5. Variables lingüísticas de entrada del sistema difuso.

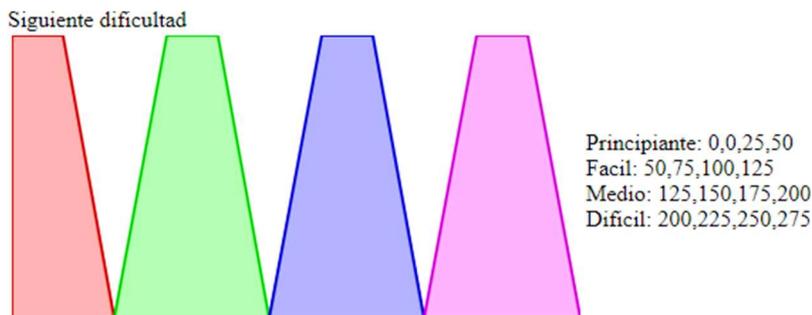


Fig. 6. Variables lingüísticas de salida del sistema difuso.

las ayudas, las instrucciones, el nombre del ejercicio y el contador de tiempo. Estos elementos pueden verse en la Figura 3.

Para que los estudiantes puedan resolver los ejercicios, se necesita que el motor de realidad aumentada (Vuforia), efectúe el reconocimiento de un marcador, colocando el mismo dentro del campo de visión de la cámara del dispositivo. Vuforia al reconocer el marcador, superpone los elementos digitales, es decir, los posibles componentes necesarios para completar el circuito mostrado.

Cada marcador es reconocido de manera única, lo cual permite al motor de Unity procesar salidas aumentadas de acuerdo a la posición y orientación del marcador proporcionado por el estudiante[5]. En la Figura 4 se puede ver la interfaz gráfica de CircuitAR mostrando los modelos 3D correspondientes de 3 marcadores que han sido previamente detectados.

### 3.3. Modelo de lógica difusa

Para poder adaptar el sistema al comportamiento y desempeño del estudiante durante el uso de la plataforma, se implementó un modelo de lógica difusa que evalúa el nivel de complejidad del ejercicio siguiente con base en el número de errores cometidos por

```
SI ultima_dificultad ES principiante Y SI errores ES ninguno Y pistas ES ninguno ENTONCES siguiente_dificultad ES facil
SI ultima_dificultad ES facil Y SI errores ES ninguno Y pistas ES ninguno ENTONCES siguiente_dificultad ES medio
SI ultima_dificultad ES medio Y SI errores ES ninguno Y pistas ES ninguno ENTONCES siguiente_dificultad ES dificil
SI ultima_dificultad ES facil Y SI errores ES muchos Y pistas ES muchas ENTONCES siguiente_dificultad ES principiante
SI ultima_dificultad ES medio Y SI errores ES muchos Y pistas ES muchas ENTONCES siguiente_dificultad ES facil
SI ultima_dificultad ES facil Y SI errores ES muchos Y pistas ES muchas ENTONCES siguiente_dificultad ES principiante
SI ultima_dificultad ES dificil Y SI errores ES muchos Y pistas ES muchas ENTONCES siguiente_dificultad ES dificil
```

Fig. 7. Reglas del sistema difuso.

el estudiante, las ayudas solicitadas y el tiempo empleado para solucionar el ejercicio en turno.

Estas variables lingüísticas y sus funciones de membresía pueden verse en la Figura 5. Sus valores se tomaron de acuerdo con la experiencia de varios profesores consultados, expertos en el área de electrónica. El subcomponente **FuzzyController** (ver Figura 2) selecciona los ejercicios que los estudiantes deben realizar, con base en las recomendaciones realizadas por la máquina de inferencia difusa, y brindar retroalimentación al estudiante. La máquina de inferencias difusa adapta el modelo pedagógico a las necesidades del alumno. Esta máquina contiene las variables lingüísticas, los conjuntos difusos y las etiquetas.

Las variables difusas o lingüísticas de entrada son el número de errores cometidos por el alumno, el número de veces que el alumno solicita ayuda y el tiempo necesario para resolver el ejercicio. El resultado de la inferencia es una variable difusa de salida denominada “siguiente dificultad, que representa al nivel de dificultad aplicable al siguiente ejercicio con los valores difusos de principiante, fácil, medio y difícil. El subcomponente **AssetManager** (ver Figura 2) administra los accesos a las bases de datos de modelos prefabricados, y otros recursos para configurar el ejercicio actual según el del usuario.

El subcomponente **HelpManager** administra los mensajes de ayuda que se le presentarían al estudiante para resolver los ejercicios. Una vez definidas las variables lingüísticas que se pueden ver en las Figuras 5 y 6, el sistema difuso aplicará las reglas para cada conjunto de valores de las 3 variables de entrada, dado que se tienen 4 variables de entrada, 3 de ellas con 3 posibles valores y una con 4, se han definido 81 reglas, cada una dando un valor correspondiente a la variable de salida. Algunas de las reglas utilizadas se muestran en la Figura 7.

#### 4. Evaluación y experimentos

Para evaluar la efectividad de CircuitAR, se consideraron 2 aspectos: la funcionalidad de la plataforma y una intervención con estudiantes del segundo semestre de la carrera de ingeniería electrónica, del Instituto Tecnológico de Mazatlán, en modalidad virtual a distancia. Para ambos aspectos, nuestro sistema se adaptó por completo a la pandemia para realizar todos los experimentos y evaluaciones a distancia y en línea. Esto se logró con las siguientes acciones:

- Los marcadores para RA están disponibles en CircuitWeb, ya sea para su impresión o su visualización desde la web.

**Tabla 1.** Comentarios relevantes por parte de los estudiantes.

Alumno	Comentarios
Alumno 1	Es una gran aplicación y es de gran utilidad, son temas de nivel ingeniería y por lo tanto es de mucha relevancia hacer una buena aplicación para la enseñanza de esta materia.
Alumno 2	Creo que la aplicación aporta demasiado, siento que aporta demasiado a las prácticas de circuitos eléctricos y ahora con el tema de la contingencia sanitaria es de gran utilidad para esos docentes que imparten esa materia.
Alumno 3	Fuera de algunos detalles en cuanto a la usabilidad, me pareció útil y con buen contenido didáctico, espero que en el futuro le agreguen más ejercicios y componentes de circuitos eléctricos.
Alumno 4	Estamos tan acostumbrados a las tecnologías aplicadas mediante apps en dispositivos móviles, que con la ayuda de estas aplicaciones orientadas a la enseñanza de materias facilitaría más el trabajo a la hora de aprender y practicar, ya que no todos cuentan con los recursos de obtener componentes o piezas para realizar una práctica de manera física.
Alumno 5	Debido a la situación actual provocados por la contingencia sanitaria, muchas escuelas se vieron limitadas a la hora de las prácticas de forma física, como lo son los circuitos eléctricos y pienso que esta aplicación será de gran utilidad para que los alumnos realicen prácticas desde donde se encuentren.

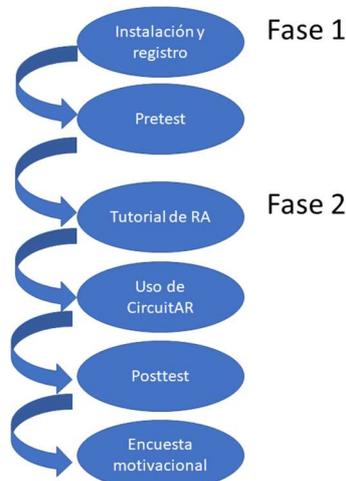
- La aplicación está disponible para su descarga en la Google Play de Android<sup>1</sup>, evitando problemas de distribución y de permisos en los equipos, así como aumentando la confianza de los estudiantes al estar en un ambiente conocido por ellos.
- Los exámenes pre-test y post-test están también disponibles en CircuitWeb.

Estas acciones permitieron llevar un mejor control del experimento, logrando así que las sesiones con los estudiantes se pudieran llevar a cabo de manera remota, así mismo, que los exámenes de evaluación pre-test y post-test estén disponibles dentro de la plataforma, les dio a los estudiantes un mayor compromiso a realizarlas, ya que de esta manera no tenían que salir de la aplicación para poder contestarlos, mejorando el compromiso y confianza de los estudiantes con el proceso.

En cuanto a la funcionalidad de la plataforma, se recibió retroalimentación de los alumnos durante las sesiones de uso de la herramienta. Para ello, se recopilaron observaciones que nos permitieron mejorar el ambiente de aprendizaje para futuras iteraciones del desarrollo. En la tabla 1 se muestran las más relevantes de ellas.

En general, se puede apreciar que los alumnos coincidieron en que las interfaces de usuario de los ejercicios de CircuitAR son innovadoras y usables (sencillas de usar), y

<sup>1</sup> <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mcc.circuitar>



**Fig. 8.** Proceso de pruebas de la aplicación CircuitAR.

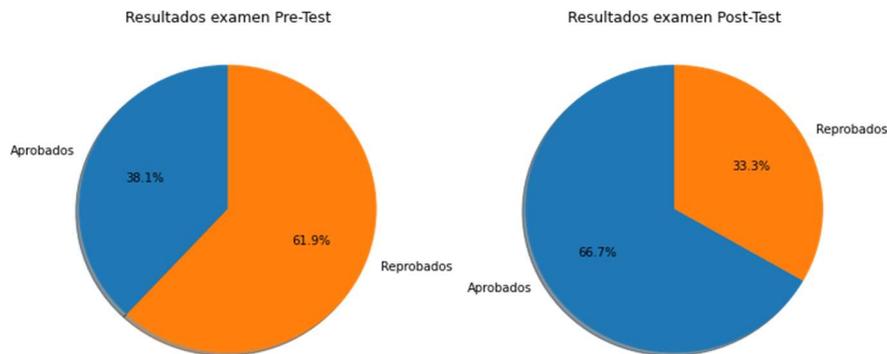
que es una manera innovadora de acercarse al tema de circuitos eléctricos sin la necesidad de tener componentes físicos.

Además de las retroalimentaciones, y siguiendo una de las metodologías propuestas por Woolf [9], se diseñó una intervención que consta de 2 fases: en la primera fase el estudiante debe descargar e instalar la aplicación. Una vez instalada, el estudiante procede a registrarse. Al iniciar sesión, se habilita la opción para responder un examen pre-test con una duración de 15 minutos, integrado por diez reactivos, con cuatro posibles respuestas acerca del tema de circuitos eléctricos.

La segunda fase se inicia con un tutorial acerca del uso de la tecnología de realidad aumentada a través de videos, así como de un ejemplo del manejo de la técnica de colisión de marcadores, con una duración de 10 minutos. Posteriormente, se brindan las instrucciones acerca de cómo interactuar con la aplicación CircuitAR, y durante 20 minutos, los estudiantes deberán resolver los ejercicios propuestos en la aplicación.

Durante ese tiempo, el equipo de investigación atiende y resuelve dudas acerca del manejo de la aplicación. Una vez finalizada la interacción, el estudiante deberá responder un post-test con una duración de 15 minutos, integrado por diez preguntas con el mismo grado de complejidad del pre-test. Para finalizar la sesión, el estudiante deberá responder una encuesta motivacional, integrada por 36 preguntas con 5 posibles respuestas, en un lapso de 20 minutos.

La Figura 8 muestra la metodología aplicada en el proceso de pruebas y experimentos. En este proyecto participaron 24 estudiantes de segundo semestre de ingeniería (edad=19-23,  $M=19.2380$ ,  $SD=1.338$ ), en donde 3 estudiantes no completaron algunas de las pruebas y, por lo tanto, no fueron considerados para este estudio. Al realizar el análisis del examen pre-test, se obtuvo una media de 51.4 de calificación y un porcentaje de aprobados de 38.1%. De manera similar, con el examen post-test se obtuvo un 65.2 de promedio y un porcentaje de aprobados de 66.7%. La Figura 9 muestra los resultados obtenidos. De la gráfica anterior se puede observar una mejora de 28.6% antes y después de los exámenes.



**Fig. 9.** Resultados de los exámenes pre-tests y post-tests.

## 5. Conclusiones y trabajo a futuro

La plataforma desarrollada es capaz de guiar a los alumnos a través de ejercicios de realidad aumentada de manera personalizada gracias al modelo de lógica difusa que se ha diseñado. A partir de la evaluación cualitativa aquí mostrada por los alumnos al usar la aplicación, se puede concluir que los alumnos se han sentido identificados con los elementos mostrados por la aplicación, la cual es innovadora en la manera en que ésta muestra los componentes con los que los estudiantes interactúan durante sus prácticas didácticas.

Así mismo, los estudiantes hicieron observaciones acerca de la usabilidad y el rendimiento de la aplicación en distintos dispositivos, ayudando esto último a detectar y resolver algunos problemas de resolución y rendimiento dentro de CircuitAR.

Por otro lado, y dados los resultados de las pruebas realizadas, se puede considerar que CircuitAR como entorno de aprendizaje, es efectivo para mejorar el rendimiento de los estudiantes en la comprensión del tema de “circuitos eléctricos”, al ponerlo en práctica con los ejercicios que se han planteado.

Como trabajos futuros, se planea llevar a cabo pruebas en grupos con mayor cantidad de estudiantes, así como en grupos de diferentes grados y carreras, con el fin de poder analizar mejor el impacto de la herramienta en contextos diferentes al planteado en este artículo.

También se planea ampliar la propuesta didáctica de la plataforma, aumentando la cantidad de ejercicios disponibles, así como la variedad de elementos eléctricos que los estudiantes utilizan para interactuar con la plataforma. Finalmente, se realizará la interpretación de los resultados de las encuestas motivacionales utilizando algún instrumento de medición adecuado.

## Referencias

1. Alshamrani, A., Bahattab, A.: A comparison between three SDLC models waterfall model, spiral model, and Incremental/Iterative model. *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 12, no. 1, pp. 106–111 (2015)

2. Azuma, R. T.: A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. MIT Press-Journals, vol. 6, no. 4, pp. 355–385 (1997) doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355
3. Gogo, K. O., Nderu, L., Mwangi, R. W.: Fuzzy logic based context aware recommender for smart E-learning content delivery. In: *5th International Conference on Soft Computing and Machine Intelligence* (2018) doi: 10.1109/iscmi.2018.8703247
4. Gonzalez, H. B., Kuenzi, J. J.: *Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: A primer*. Washington, DC: Congressional Research Service, Library of Congress (2014)
5. Holmes, W., Bialik, M., Fadel, C.: *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning* (2019)
6. Hruntova, T. V., Yechkalo, Y. V., Striuk, A. M., Pikilnyak, A. V.: Augmented reality tools in physics training at higher technical educational institutions. In: *Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education*, no. 2257, pp. 33–40 (2018)
7. Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., Delgado Kloos, C.: Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers and Education*, vol. 71, pp. 1–13 (2014) doi: 10.1016/j.compedu.2013.09.004
8. Ibáñez, M. B., Delgado-Kloos, C.: Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers and Education*, vol. 123, pp. 109–123 (2018) doi: 10.1016/j.compedu.2018.05.002
9. Karaci, A.: Intelligent tutoring system model based on fuzzy logic and constraint-based student model. *Neural Computing and Applications*. Science and Business Media LLC, vol. 31, no. 8, pp. 3619–3628 (2018) doi: 10.1007/s00521-017-3311-2
10. Liao, Y. T., Yu, C. H., Wu, C. C.: Learning geometry with augmented reality to enhance spatial ability. In: *Proceedings of the International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering* (2015) doi: 10.1109/latice.2015.40
11. Ozdemir, A., Balbal, K. F.: Fuzzy logic based performance analysis of educational mobile game for engineering students. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 28, no. 6, pp. 1536–1548 (2020) doi: 10.1002/cae.22325
12. Patil, S., Prabhu, C., Neogi, O., Joshi, A. R., Katre, N.: E-learning system using augmented reality. In: *2016 International Conference on Computing Communication Control and automation* (2016) doi: 10.1109/iccubea.2016.7860038
13. Rathore, R. K., Jayanthi, J.: Student prediction system for placement training using fuzzy inference system. *Journal on Soft Computing*, vol. 7, no. 3, pp. 1443–1446 (2017) doi: 10.21917/jsc.2017.0199
14. Rossano, V., Lanzilotti, R., Cazzolla, A., Roselli, T.: Augmented reality to support geometry learning. vol. 8, pp. 107772–107780 (2020) doi: 10.1109/access.2020.3000990
15. Woolf, B. P.: *Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning* (2010)