

Análisis Descriptivo de Aplicaciones de Realidad Aumentada en la Industria y Educación Técnica

Juan José Cuevas Magaña¹, Darío Gael Najjar Macías², Jorge Alberto Cárdenas Magaña³
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y
Henríquez Unidad Académica Tamazula.

Resumen - El objetivo principal de esta investigación es analizar y describir las aplicaciones actuales de la Realidad Aumentada (RA) en los sectores industrial y educativo, evaluando su usabilidad, eficiencia, precisión de instrucciones y capacidad para mejorar la productividad y el aprendizaje en distintos contextos. La RA ha surgido como una herramienta clave para optimizar la interacción entre trabajadores, estudiantes y su entorno, ofreciendo experiencias inmersivas que potencian el aprendizaje como la eficiencia operativa. Para llevar a cabo este análisis, se emplearon metodologías descriptivas y comparativas, evaluando aplicaciones específicas como Siemens AR for Maintenance, Upskill Skylight, y Festo Didactic AR App, en términos de su impacto en productividad y reducción de errores. Los resultados revelan ventajas significativas en el uso de la RA en tareas industriales y educativas, aunque también se identificaron limitaciones y áreas de mejora, especialmente en términos de accesibilidad y adaptabilidad en diversos entornos. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones que exploren la integración de la RA con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial para desarrollar soluciones más personalizadas y efectivas.

Índice de Términos -Realidad Aumentada, Aplicaciones industriales, Aplicaciones educativas, Usabilidad de software, Rendimiento de aplicaciones, Evaluación descriptiva.

Abstract - The main objective of this research is to analyze and describe the current applications of Augmented Reality (AR) in the industrial and educational sectors, evaluating their usability, efficiency, instruction accuracy, and ability to enhance productivity and learning in various contexts. AR has emerged as a key tool to optimize interaction between workers, students, and their environment, offering immersive experiences that boost both learning and operational efficiency.

Documento enviado el 23 de noviembre de 2024.

Autores: 1. Juan José Cuevas Magaña, estudiante afiliado al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula. Tamazula de Gordiano, Jalisco, 49650. correo: tm210110501@tamazula.tecmm.edu.mx

2. Darío Gael Najjar Macías, estudiante afiliado al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula. Tamazula de Gordiano, Jalisco, 49650. correo: tm210111202@tamazula.tecmm.edu.mx

3. Jorge Alberto Cárdenas Magaña, profesor investigador afiliado al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula. Tamazula de Gordiano, Jalisco, 49650. correo: Jorge.cardenas@tamazula.tecmm.edu.mx

To carry out this analysis, descriptive and comparative methodologies were employed, evaluating specific applications such as Siemens AR for Maintenance, Upskill Skylight, and Festo Didactic AR App in terms of their impact on productivity and error reduction. The results reveal significant advantages in the use of AR in industrial and educational tasks, although limitations and areas for improvement were also identified, particularly regarding accessibility and adaptability across different environments. This study lays the groundwork for future research exploring the integration of AR with emerging technologies such as artificial intelligence to develop more personalized and effective solutions.

Index Terms - Augmented Reality, Industrial Applications, Educational Applications, Software Usability, Application Performance, Descriptive Evaluation.

I. INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica ha transformado múltiples áreas del conocimiento y la industria, destacándose la Realidad Aumentada (RA) como una de las innovaciones más relevantes. La RA es una tecnología que ha evolucionado significativamente desde sus primeros desarrollos en la década de 1960, cuando era una herramienta experimental en laboratorios de investigación. El término "Realidad Aumentada" fue acuñado en 1990 por Tom Caudell, y desde entonces, su adopción ha crecido exponencialmente, con aplicaciones en campos como la medicina, la educación y la industria. Actualmente, la RA combina contenido digital y físico mediante dispositivos tecnológicos, creando una nueva realidad en la que la información digital se superpone al entorno físico [1]. En la industria, la RA ha demostrado ser una herramienta efectiva para aumentar la eficiencia operativa, permitiendo a los operarios acceder a información crítica en tiempo real durante tareas como mantenimiento, ensamblaje y diseño técnico. Por otro lado, en el ámbito educativo, esta tecnología ha facilitado el aprendizaje al proporcionar experiencias inmersivas que ayudan a comprender conceptos complejos, especialmente en disciplinas técnicas [2]. A pesar de sus avances, la implementación de la RA enfrenta desafíos relacionados con la accesibilidad, adaptabilidad y rendimiento en diversos contextos.

El objetivo principal de esta investigación es analizar y describir las aplicaciones actuales de RA en los sectores industrial y educativo, evaluando su usabilidad, eficiencia, precisión de instrucciones y capacidad para mejorar la productividad y el aprendizaje. Se centra en cinco aplicaciones específicas: **Siemens Augmented Reality for Maintenance**, **Upskill Skylight**, **Mobile Worker**, **RobotStudio AR Viewer** y **Festo Didactic AR App**, seleccionadas por su relevancia y uso en estos sectores. Además, se busca identificar ventajas, limitaciones y oportunidades de mejora para estas herramientas, sentando las bases para futuras investigaciones que exploren su integración con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial.

En sectores como la industria y la educación técnica, el acceso a capacitación práctica puede estar limitado por factores como la falta de equipos, riesgos de seguridad y altos costos. Por ejemplo, aprender a operar maquinaria industrial o realizar prácticas de ensamblaje eléctrico puede resultar costoso y riesgoso para los principiantes. La RA permite a estudiantes y trabajadores practicar en entornos virtuales superpuestos a la realidad, evitando riesgos físicos y la necesidad de maquinaria real o costosa. Esto no solo reduce costos, sino que también aumenta la accesibilidad y seguridad, permitiendo la interacción con representaciones tridimensionales de equipos y circuitos mediante guías interactivas en tiempo real. Asimismo, facilita la toma de decisiones informadas por parte de operadores y gerentes sin necesidad de acceder a sistemas informáticos complejos.

II. DESARROLLO DEL TEMA

Esta investigación tiene como objetivo realizar una evaluación descriptiva de cinco aplicaciones de Realidad Aumentada (RA) aplicadas en entornos industriales y educativos: **Siemens Augmented Reality for Maintenance**, **Upskill Skylight**, **Mobile Worker**, **RobotStudio AR Visor** y **aplicación Festo Didactic AR**. Estas aplicaciones fueron seleccionadas debido a su capacidad para mejorar la eficiencia operativa, la formación técnica y el mantenimiento industrial mediante la superposición de información digital sobre el entorno físico. El estudio se centra en analizar sus características técnicas y funcionales, proporcionando una visión sobre su impacto en los sectores en los que se implementan. Además, se consideran los beneficios observados en estudios previos y las experiencias documentadas por usuarios, con el fin de ofrecer una comprensión integral de las ventajas y limitaciones de cada herramienta.

A. Realidad Aumentada (RA)

La RA es una tecnología que permite la superponer gráficos generados por computadora en el entorno real, creando una interacción simultánea entre el mundo físico y el digital en tiempo real [2]. Esta tecnología forma parte de un espectro más amplio conocido como Realidad Mixta (MR), que también abarca la Realidad Virtual (VR) y la telepresencia. A diferencia de la VR, que sumerge completamente al

usuario en un entorno digital, la RA combina ambos entornos, permitiendo a los usuarios interactuar con objetos virtuales mientras se mantienen conscientes del entorno físico. Para visualizar entornos de RA, se emplean diversos dispositivos, entre los que destacan los **visores montados en la cabeza (HMDs)** y otras soluciones basadas en óptica y video [3]. Estos dispositivos permiten que los usuarios experimenten la RA de forma inmersiva, integrando elementos digitales en su campo de visión y facilitando la manipulación de datos y objetos digitales superpuestos sobre el mundo real.

B. Innovación Tecnológica en la RA

La innovación tecnológica en la RA se puede abordar desde distintos modelos, que van desde los enfoques lineales tradicionales hasta los más interactivos y dinámicos. Estos últimos que consideran la participación activa de varios actores, como desarrolladores, usuarios y proveedores de tecnología, en cada etapa del desarrollo. Los estudios de caso constituyen una metodología valiosa para examinar cómo las empresas han implementado con éxito innovaciones tecnológicas en RA, permitiendo identificar recursos clave, procesos y resultados que contribuyen al desarrollo efectivo de esta tecnología [4]. El avance en la tecnología de RA no depende únicamente del desarrollo de software, También depende del hardware, que permite el procesamiento de datos en tiempo real y facilita la interacción fluida entre los objetos virtuales y el entorno físico. Los dispositivos de RA requieren una potencia de procesamiento significativa para generar y superponer gráficos de forma sincronizada con el entorno real, lo cual representa un desafío constante en términos de diseño de hardware y optimización de recursos [5].

C. Realidad Aumentada en Dispositivos Móviles

El uso de la RA ha experimentado un crecimiento importante en dispositivos móviles, ampliando su accesibilidad y aplicabilidad en diversos sectores. La RA en dispositivos móviles permite a los usuarios interactuar con el entorno real enriquecido por contenido digital generado por computadora, lo cual abre nuevas posibilidades en áreas donde la interacción contextual es fundamental. En particular, estudios han mostrado que la RA en móviles tiene un gran potencial en el ámbito educativo, donde las experiencias interactivas pueden mejorar el aprendizaje y facilitar la comprensión de conceptos complejos [6]. Diversos estudios destacan que las aplicaciones de RA en dispositivos móviles combinan contenido digital con imágenes del entorno real. Esto resulta especialmente útil en sectores como la educación y la medicina, donde la visualización y la interacción en tiempo real son elementos clave [7]. Este enfoque permite no solo un aprendizaje más dinámico, sino también la creación de entornos simulados para capacitación médica y técnica, aprovechando las capacidades gráficas y de procesamiento de los dispositivos móviles actuales.

D. RA en el Ámbito Educativo

La RA se ha consolidado como una herramienta poderosa en el ámbito educativo, proporcionando métodos innovadores que facilitan la comprensión de conceptos complejos. La capacidad de la RA para combinar el entorno real con objetos digitales tridimensionales permite que los estudiantes interactúen de manera más dinámica y directa con el contenido educativo, lo cual favorece un **aprendizaje activo** y una mejor **visualización de conceptos abstractos** [8]. Investigaciones han demostrado que el uso de RA en el aula contribuye a mejorar el rendimiento académico de los estudiantes, aumentando su motivación y facilitando la retención de información. En algunas investigaciones en algunos proyectos educativos utilizaron RA como libros didácticos aumentados, aplicaciones geolocalizadas, y cuadernillos de modelos 3D, destacando aplicaciones y software como Aumentaty, Layar creator, BuildAR, y Eduloc [9]. Otros autores han utilizado herramientas como Visor 3D, Marcador 3D, Reproductor 3D, WebAR y Códigos QR para ser utilizadas en el aula, centradas en el ámbito de biología [10]. También se han utilizado aplicaciones móviles como AR Flashcards, Google Expeditions; Plataformas de desarrollo de RA como Unity con Vuforia y Arkit (iOS) y ARCore (Android), Hardware de RA como Gafas y proyectores de RA y software educativo como Thinglink y Zapworks [11]. Esta metodología ha sido implementada con éxito en programas educativos de carácter técnico, demostrando el potencial de la RA para enriquecer la formación en disciplinas donde la visualización de procesos y estructuras complejas es esencial [8].

E. Procedimientos para el Desarrollo de Proyectos en RA

El desarrollo de proyectos en RA requiere un procedimiento estructurado que abarque desde la concepción de la idea hasta la implementación técnica y posterior validación. Estos procedimientos son esenciales para asegurar que el proyecto de RA cumpla con sus objetivos de funcionalidad y efectividad en su contexto de aplicación. Un ejemplo de este tipo de procedimiento es el desarrollado por la Universidad de Pamplona, donde se creó una **tarjeta de presentación en RA** para el programa de ingeniería de sistemas. Este enfoque incluye etapas de diseño, desarrollo y pruebas, orientadas a evaluar tanto la viabilidad técnica como la utilidad de la aplicación en un entorno real [8]. Este procedimiento no solo se enfoca en la implementación técnica, sino también en la validación de su efectividad, lo cual permite demostrar que la metodología utilizada es aplicable en una amplia gama de sectores. La validación es crucial para adaptar la tecnología de RA a diferentes contextos y asegurar que cumpla con los requisitos específicos de cada industria o ámbito educativo [12].

F. Herramientas y Tecnologías en el Desarrollo de RA

El éxito de las aplicaciones de RA depende en gran medida de las herramientas y tecnologías empleadas en su desarrollo. Entre las más utilizadas se encuentran Vuforia y

Unity, que han demostrado ser fundamentales en la creación de experiencias interactivas de RA, especialmente en el ámbito educativo [13]. Vuforia es un kit de desarrollo especializado en el reconocimiento de marcadores, lo que permite que las aplicaciones de RA identifiquen y rastreen objetos físicos en el entorno. Por otro lado, Unity es una plataforma robusta para el desarrollo de videojuegos y aplicaciones en 3D, ampliamente adoptada para integrar elementos virtuales en el mundo real, gracias a sus capacidades gráficas y de interacción en tiempo real. Estas herramientas permiten a los desarrolladores crear aplicaciones que fusionan de manera eficiente el entorno real con objetos virtuales, proporcionando a los usuarios una experiencia inmersiva y enriquecedora. La combinación de Vuforia y Unity facilita la creación de contenidos educativos y técnicos que pueden adaptarse a distintos niveles de complejidad, optimizando la usabilidad y efectividad de las aplicaciones de RA en diversos contextos.

G. Realidad Aumentada en la Industria

La RA ha encontrado aplicaciones significativas en sectores industriales, especialmente en áreas como la manufactura y el ensamblaje. En estos entornos, la RA permite a los operarios visualizar información crítica en tiempo real, lo que mejora la precisión y eficiencia en procesos complejos. Una de las herramientas más útiles en esta implementación son los **lentes inteligentes**, que ofrecen a los trabajadores una interfaz visual superpuesta con instrucciones y datos relevantes, facilitando el flujo de trabajo y reduciendo el margen de error. Un ejemplo notable de esta aplicación es el uso de **Google Glass Enterprise 2** en estaciones de ensamblaje, donde los operarios reciben guías visuales en tiempo real directamente en su campo de visión. Esta integración de RA ha demostrado optimizar la eficiencia y productividad, ya que los trabajadores pueden realizar tareas de manera más rápida y precisa sin necesidad de consultar manuales físicos o dispositivos externos [14].

H. Aplicaciones Futuras y Retos de la RA

El futuro de RA presenta numerosas oportunidades, pero también enfrenta varios retos, tanto en términos de desarrollo tecnológico como de adopción por parte de los usuarios. Uno de los principales desafíos es la creación de hardware más accesible y de alto rendimiento, que permita la ejecución fluida de aplicaciones de RA sin requerir grandes recursos computacionales. La disponibilidad de dispositivos asequibles y potentes es fundamental para que la RA se integre en sectores diversos y para que pueda ser utilizada por un público más amplio. También se ha señalado que la tecnología móvil ha sido una pieza clave para la evolución de la RA, permitiendo su expansión en sectores como la educación, el entretenimiento y la medicina, donde la portabilidad y la capacidad de interacción en tiempo real son altamente valoradas [15]. En el ámbito educativo, la RA ha mostrado un gran potencial en la enseñanza de conceptos abstractos. Por ejemplo, Waskito (2024), en un estudio sobre la enseñanza de mecánica de ingeniería, demostró que la RA facilita la comprensión mediante la interacción con objetos

tridimensionales, lo cual refuerza la validez y la practicidad de esta tecnología en el proceso de enseñanza-aprendizaje [16].

I. Variantes de la Realidad Aumentada

A partir del concepto fundamental de la RA, los avances tecnológicos han impulsado el desarrollo de diversas variantes de esta tecnología, cada una con aplicaciones y características específicas. En este trabajo utilizamos aplicaciones de Realidad Aumentada como **Siemens Augmented Reality for Maintenance**, **Upskill Skylight**, **Mobile Worker**, **RobotStudio AR Visor** y **Festo Didactic AR**, cada una diseñada para cumplir propósitos específicos. Por ejemplo, **Siemens Augmented Reality for Maintenance** nos ayuda a identificar equipos y mostrar información técnica en tiempo real, aprovechando la capacidad de la RA para reconocer objetos. **Upskill Skylight**, por otro lado, utiliza gafas inteligentes para proporcionar instrucciones claras directamente en el campo de visión del usuario, gracias a su enfoque en la RA sin marcadores. **Mobile Worker** se destaca por su uso de datos de ubicación para mostrar información relevante según el lugar en el que se esté trabajando, mientras que **RobotStudio AR Visor** permite proyectar modelos en 3D en el mundo real, facilitando la planificación y simulación de movimientos en robots industriales. Finalmente, **Festo Didactic AR** se enfoca en la educación técnica, utilizando patrones visuales para superponer contenido interactivo que hace más dinámico el aprendizaje. Estas herramientas y variantes fueron elegidas porque se adaptan perfectamente a las necesidades del proyecto, combinando innovación y funcionalidad en distintos escenarios.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

La investigación tiene como objetivo evaluar cinco aplicaciones de RA utilizadas en contextos industriales y educativos. Cada una de las aplicaciones se probará utilizando un teléfono móvil para analizar su usabilidad y rendimiento en tiempo real. Las variables principales evaluadas serán: 1. **Usabilidad**: Medida a través de la facilidad de uso y la interacción del usuario con cada aplicación. 2. **Rendimiento**: Evaluado en términos de tiempos de respuesta y estabilidad de la aplicación. Las pruebas se realizarán directamente en dispositivos móviles, y las observaciones serán registradas en fichas detallando las ventajas, limitaciones y posibles aplicaciones de cada herramienta. Además, se consultará la documentación técnica y los manuales de usuario también serán utilizados para comprender a fondo las características de cada herramienta. La metodología implementada se muestra en la figura 1.

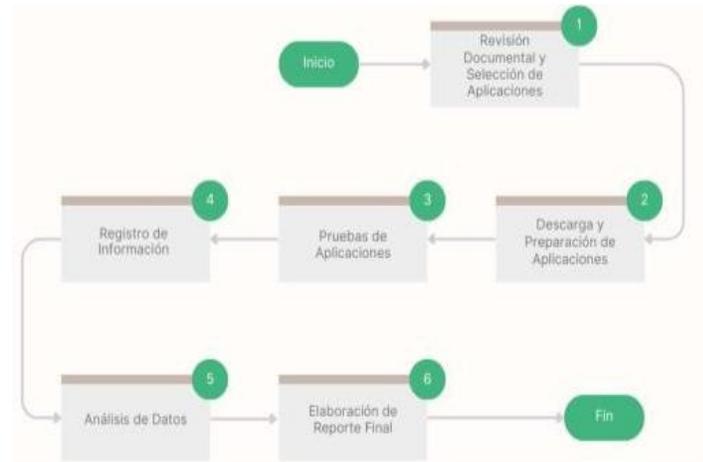


Fig. 1. Metodología empleada.

1. Selección de Aplicaciones de RA.

Para identificar las aplicaciones de RA más relevantes y efectivas en áreas específicas de los sectores industrial y educativo, se realizó una exhaustiva revisión del estado del arte. En el caso del sector industrial, se limitó el análisis a aplicaciones relacionadas con mantenimiento y simulación robótica, mientras que en el sector educativo se enfocó en herramientas destinadas al aprendizaje técnico. El proceso de selección incluyó una evaluación de múltiples aplicaciones, considerando criterios como la capacidad de mejorar la eficiencia operativa, la facilidad de uso, el impacto en el aprendizaje técnico, la integración con el entorno físico, la accesibilidad tecnológica y su adaptabilidad a distintos escenarios. Entre las aplicaciones revisadas, además de las seleccionadas, se analizaron otras herramientas como **PTC Vuforia**, **TeamViewer Pilot** y **Augment**, que quedaron fuera de la selección final debido a limitaciones en alguno de los criterios. Como resultado, se eligieron cinco aplicaciones que destacan por su impacto en sus respectivos ámbitos: **Siemens Augmented Reality for Maintenance**, **Upskill Skylight**, **Mobile Worker**, **RobotStudio AR Viewer** y **Festo Didactic AR App**.

Upskill Skylight: Es una plataforma de RA diseñada para aumentar la productividad de los trabajadores de primera línea en industrias como la manufactura, mantenimiento, logística. Upskill Skylight permite que los empleados accedan a información clave en tiempo real mientras realizan sus tareas, mejorando la eficiencia y reduciendo errores. La plataforma es compatible con dispositivos portátiles como gafas inteligentes y dispositivos móviles, lo que facilita la entrega de instrucciones visuales, datos en tiempo real y asistencia remota para la ejecución de tareas.

RobotStudio AR Viewer: Es una aplicación de RA desarrollada por ABB como parte de su software RobotStudio. Esta aplicación permite a los usuarios visualizar modelos y simulaciones de robots en el mundo real mediante dispositivos móviles. **RobotStudio AR Viewer** es especialmente útil en el diseño, programación y

simulación de células de trabajo robotizadas, ya que ofrece una visualización inmersiva y en tiempo real que facilita el proceso de planificación y optimización de sistemas automatizados. La figura 2 ilustra su interfaz.

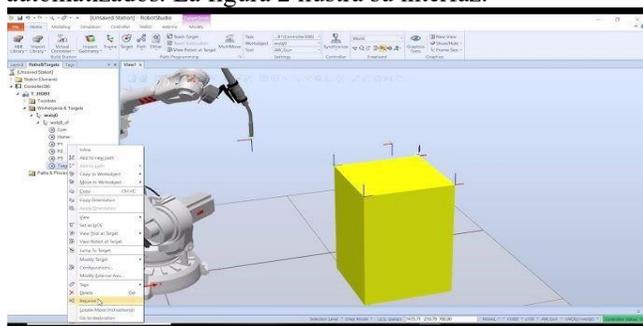


Fig. 2. Interfaz de Robot Studio AR Viewer [17].

Festo Didactic AR App: Es una aplicación de RA desarrollada por Festo Didactic, la división educativa de Festo, que se especializa en soluciones de enseñanza en automatización industrial y tecnologías mecatrónicas. Esta aplicación está diseñada para mejorar la experiencia de aprendizaje en entornos técnicos y educativos, permitiendo a los estudiantes y profesionales interactuar con componentes y sistemas industriales en un entorno digital, superpuesto sobre el mundo real.

Solid Edge Augmented Reality: Es una funcionalidad de RA integrada en el software de diseño asistido por computadora (CAD) Solid Edge, desarrollado por Siemens Digital Industries Software. Esta herramienta permite a los usuarios visualizar modelos 3D en un entorno de RA, facilitando la comprensión y comunicación de los diseños, así como la colaboración en proyectos de ingeniería. La figura 3 muestra una imagen de la interfaz.



Fig. 3. Interfaz de Solid Edge Augmented Reality [18]

COSMO'S Mobile Worker: Es una solución de RA diseñada para mejorar la eficiencia de los trabajadores de primera línea en industrias como la manufactura, energía, mantenimiento, y servicios. Esta plataforma facilita la ejecución de tareas diarias, proporcionando a los técnicos acceso a información en tiempo real, guías interactivas, y soporte remoto mediante dispositivos móviles o gafas inteligentes. Su objetivo principal es ayudar a los trabajadores a realizar sus tareas de manera más rápida, precisa y segura. La figura 4 muestra la interfaz de Cosmos Mobile.



Fig. 4. Cosmos Mobile Worker [19].

Cada una de estas aplicaciones fue evaluada en función de su capacidad para superponer información digital de manera efectiva sobre entornos físicos, facilitando tareas complejas como el mantenimiento industrial y la formación técnica en tiempo real. Además, la selección de estas herramientas consideró su capacidad de adaptación a diferentes niveles de complejidad, permitiendo su uso tanto en entornos industriales de gran escala como en programas educativos de formación técnica.

2. Herramientas y software utilizados en la evaluación.

La evaluación de las cinco aplicaciones de Realidad Aumentada seleccionadas: **Siemens Augmented Reality for Maintenance, Upskill Skylight, Mobile Worker, RobotStudio AR Viewer** y **Festo Didactic AR App**, se basa en un análisis comparativo que no requiere la creación de simulaciones o desarrollo de software adicional. Para realizar esta comparación, se emplearán diversas fuentes secundarias, incluyendo estudios de caso, documentación técnica de los desarrolladores, y análisis previos realizados por expertos del sector. Además, se llevarán a cabo una serie de pruebas experimentales descritas previamente para complementar la información obtenida. Cada aplicación será evaluada en función de varios criterios clave. La tabla 1 muestra estos criterios:

Usabilidad	Facilidad de uso	Medida por la facilidad con la que un usuario puede aprender a utilizar la aplicación, su interfaz intuitiva y la lógica detrás de las acciones comunes dentro de la aplicación.
	Interacción del usuario	Consideración de la capacidad de la aplicación para proporcionar una experiencia fluida y sin obstáculos, minimizando el tiempo de adaptación del usuario a sus funcionalidades.
	Accesibilidad	Grado en el que las aplicaciones pueden ser utilizadas por individuos con diferentes niveles de conocimiento técnico, y su compatibilidad con diversos dispositivos móviles o gafas inteligentes.
Rendimiento	Tiempos de respuesta	Cuánto tiempo tarda la aplicación en reaccionar ante una entrada del usuario o en procesar y mostrar información relevante en tiempo real.
	Estabilidad	Se observarán los tiempos de carga y si la aplicación se cierra o tiene errores durante las tareas críticas.

Tabla 1. Criterios de evaluación

Fuentes de datos y análisis comparativo

El análisis de las aplicaciones seleccionadas incluye pruebas experimentales propias para evaluar su desempeño, complementadas con estudios comparativos previos, informes de implementación y casos documentados en la literatura. Los datos provendrán de diversas fuentes, tales como publicaciones académicas, informes técnicos de los desarrolladores y testimonios de usuarios que han implementado estas soluciones. Esto permitirá realizar una evaluación rigurosa, integrando observaciones de pruebas experimentales con datos de fuentes secundarias.

El proceso de evaluación seguirá los siguientes pasos:

a. Recopilación de datos: A partir de estudios previos, se recogerán datos clave sobre el desempeño de las aplicaciones, como el impacto en la eficiencia operativa, las mejoras en el aprendizaje técnico y la facilidad de integración.

b. Análisis comparativo: Con los datos recopilados, se realizará una comparación directa entre las aplicaciones, evaluando sus ventajas y limitaciones en cada uno de los criterios mencionados. Los datos numéricos obtenidos de los tiempos de respuesta y el porcentaje de éxito de las tareas serán analizados utilizando estadística descriptiva.

c. Informe descriptivo: Finalmente, se presentará un análisis detallado y descriptivo sobre el desempeño de cada aplicación, con recomendaciones sobre cuál es más adecuada para diferentes contextos y necesidades industriales o educativas.

3. Experimentos y pruebas

Se llevaron a cabo dos pruebas para evaluar el desempeño y la utilidad de las cinco aplicaciones de Realidad Aumentada seleccionadas. Estas pruebas se llevaron a cabo en dos etapas principales: la primera consistió en una evaluación en entornos simulados, mientras que la segunda se realizó en entornos reales. Cada una diseñada para medir distintos aspectos de su funcionalidad y su impacto tanto en entornos industriales como educativos.

Primera prueba: Evaluación en entornos simulados

La primera etapa de prueba consistió en la implementación de las aplicaciones en entornos simulados que replican condiciones industriales y educativas controladas. Esta configuración permitió un control total sobre las variables y facilitó la medición precisa de los resultados en condiciones predefinidas. Durante la prueba, se desarrollaron escenarios específicos de: Mantenimiento industrial (Simulación de tareas de mantenimiento utilizando aplicaciones orientadas a la industria), Formación técnica (Implementación de la RA en la capacitación técnica para evaluar su efectividad en la enseñanza de habilidades) y Ensamblaje de componentes (Simulaciones de ensamblaje para medir la utilidad de las aplicaciones en tareas detalladas y precisas).

Para aplicaciones de carácter educativo como **Festo Didactic AR App** y **RobotStudio AR Viewer**, los estudiantes y técnicos trabajaron en simulaciones donde visualizaron y manipularon componentes virtuales superpuestos sobre sus entornos reales, evaluando la comprensión y aplicabilidad de conceptos técnicos en tiempo real.

Variables seleccionadas: Durante la primera etapa de pruebas en entornos simulados, se evaluaron las siguientes variables para medir la efectividad de las aplicaciones de RA: Facilidad de uso, Precisión de las instrucciones o visualizaciones, Eficiencia en la realización de tareas y Comprensión de conceptos complejos. La variable controlada fue la accesibilidad a la información en tiempo real o guías visuales que las aplicaciones proporcionan a los usuarios.

En esta fase, se identificaron resultados preliminares específicos para algunas aplicaciones. Upskill Skylight y Mobile Worker demostraron una alta eficiencia en la ejecución rápida de tareas y en el acceso remoto a datos críticos. Por otro lado, RobotStudio AR Viewer fue especialmente eficaz en la simulación de procesos robóticos complejos, sin embargo, algunos participantes encontraron dificultades iniciales para adaptarse a la interfaz de la RA.

Segunda prueba: Evaluación en entornos reales

La segunda etapa de pruebas se realizó en entornos operativos reales, donde las aplicaciones de RA fueron aplicadas en tareas industriales en tareas industriales y procesos educativos con usuarios finales. Esta prueba permitió obtener resultados prácticos y aplicables en condiciones reales de trabajo. Sin embargo, presentó la limitación de la variabilidad en los resultados debido a factores externos no controlados. Por ejemplo, el uso de **Siemens Augmented Reality for Maintenance** fue utilizada en el mantenimiento de maquinaria real. En este contexto, los técnicos utilizaron la aplicación para seguir procedimientos de reparación asistidos, recibiendo diagnósticos en tiempo real y visualizaciones superpuestas directamente sobre el equipo.

Variables seleccionadas: Durante la segunda etapa de pruebas en entornos reales, se evaluaron las siguientes variables para medir la efectividad de las aplicaciones de RA: Eficiencia en la realización de tareas (Mide la rapidez y precisión con la que los usuarios completan tareas en un entorno operativo real), Reducción de errores (Observa la disminución de errores en comparación con métodos tradicionales), Impacto en la productividad (Evalúa el efecto de la aplicación en la eficiencia general del proceso productivo), y Nivel de integración con sistemas y equipos existentes (Determina la facilidad con la que la aplicación se adapta a las herramientas y equipos ya presentes en el entorno de trabajo). La variable controlada fue el tiempo de ejecución de las tareas, que se comparó con los tiempos obtenidos mediante métodos tradicionales. En esta etapa, se observaron resultados específicos en algunas aplicaciones

como Siemens AR for Maintenance, que demostraron una efectividad al reducir los tiempos de inactividad del equipo, aunque algunos usuarios reportaron dificultades técnicas cuando la aplicación se usaba en entornos con baja conectividad. Festo Didactic AR App y RobotStudio AR Viewer demostraron un alto potencial en la enseñanza de habilidades técnicas, mejorando la motivación y comprensión de los estudiantes, aunque los usuarios novatos necesitaban más tiempo para adaptarse a las interfaces.

IV. RESULTADOS

Las pruebas realizadas permitieron identificar de manera clara el impacto y las limitaciones de cada aplicación de RA. En términos generales, se observó que las aplicaciones de RA en el ámbito industrial, como Mobile Worker y Upskill Skylight mejoraron la eficiencia operativa y facilitaron el acceso a información en tiempo real. En el ámbito educativo, aplicaciones como Festo Didactic AR App y RobotStudio AR Viewer demostraron ser herramientas efectivas para mejorar la comprensión de conceptos complejos y facilitar la enseñanza técnica. No obstante, se identificaron algunas limitaciones. Las aplicaciones requieren una infraestructura tecnológica robusta para funcionar de manera óptima, y los usuarios sin experiencia previa en interfaces de RA enfrentaron una curva de aprendizaje inicial significativa. Los resultados de esta investigación generan una base confiable para futuras investigaciones. Estas podrían enfocarse en la integración de RA con sistemas avanzados de inteligencia artificial para mejorar la personalización y automatización de tareas. Además, se sugiere explorar aplicaciones de RA en otros sectores, como la salud o la construcción, donde podrían ofrecer beneficios significativos.

Los resultados de la tabla 2 muestran que las aplicaciones industriales, como **Siemens AR for Maintenance** y **Upskill Skylight**, tienden a tener una mayor eficiencia operativa y tiempos de ejecución más cortos, optimizando tareas en entornos controlados. Las aplicaciones educativas, como **Festo Didactic AR App**, pueden requerir más tiempo de adaptación, pero son efectivas para el aprendizaje de conceptos complejos, como lo refleja su impacto en la reducción de errores y mejora de comprensión. La tabla 2 muestra la información detallada.

Aplicación	Eficiencia Operativa (%)	Facilidad de Uso (escala 1-5)	Tiempo de Ejecución (min)	Reducción de Errores (%)
Siemens AR for Maintenance	85%	4.2	25	35%
Upskill Skylight	80%	4.5	30	40%
Mobile Worker	78%	4.3	32	30%
RobotStudio AR Viewer	75%	4.1	35	25%
Festo Didactic AR App	70%	3.8	40	20%

Tabla 2. Resultados de la evaluación de las aplicaciones de Ra en términos de eficiencia operativa y facilidad de uso.

La figura 5 presenta un gráfico que compara la **Eficiencia Operativa (%)** de las cinco aplicaciones de Realidad Aumentada (RA) evaluadas. Esta visualización es útil para observar rápidamente cuáles aplicaciones tuvieron un mayor impacto en la eficiencia operativa en los entornos evaluados.



Fig. 5. Comparativa entre eficiencia operativa y facilidad de uso de aplicaciones de Realidad Aumentada (RA).

La Tabla 3 muestra el impacto de las aplicaciones de RA en la reducción de errores y en el tiempo de ejecución de tareas en comparación con los métodos tradicionales. Las aplicaciones industriales muestran una notable reducción tanto en el tiempo de ejecución como en los errores, lo que subraya su efectividad en mejorar la eficiencia operativa y precisión en tareas de mantenimiento y producción. Mientras que las aplicaciones educativas logran mejoras, la reducción de errores y el tiempo de ejecución es menor en comparación con las aplicaciones industriales. Esto puede deberse a la complejidad del aprendizaje técnico que requieren, así como al contexto de enseñanza en el que se utilizan.

Aplicación	Tiempo Tradicional (min)	Tiempo con RA (min)	Mejora en Tiempo (%)	Reducción de Errores (%)
Siemens AR for Maintenance	40	25	37.5%	35%
Upskill Skylight	50	30	40%	40%
Mobile Worker	45	32	28.9%	30%
RobotStudio AR Viewer	55	35	36.4%	25%
Festo Didactic AR App	60	40	33.3%	20%

Tabla 3. Impacto de las aplicaciones de RA en la reducción de errores y el tiempo de ejecución de tareas.

La figura 6 muestra una **gráfica que** presenta una comparación visual entre el **tiempo de ejecución tradicional** y el **tiempo reducido usando aplicaciones de RA** para cada una de las aplicaciones evaluadas. Esta comparación permite observar de manera clara el impacto de la RA en la reducción de tiempo para la realización de tareas. Las **aplicaciones industriales (Siemens AR for Maintenance, Upskill Skylight, Mobile Worker)**: Muestran una mayor eficiencia en la reducción de tiempos de ejecución, lo que refuerza su utilidad en mejorar la productividad en tareas de mantenimiento y producción. Mientras que las **aplicaciones educativas (RobotStudio**

AR Viewer, Festo Didactic AR App): Aunque también muestran una reducción de tiempo, la disminución es algo menor, posiblemente debido a la complejidad del aprendizaje técnico en contextos educativos.

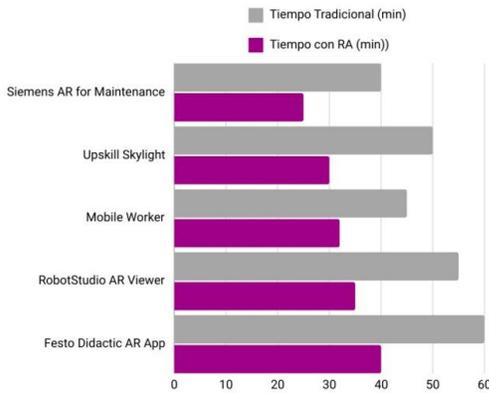


Fig. 6. Gráfico de comparación del tiempo de ejecución tradicional frente al tiempo con el uso de aplicaciones de RA.

La **Tabla 4** muestra la evaluación del impacto en la **productividad** y la **precisión de las instrucciones** proporcionadas por las aplicaciones de RA en entornos reales. Se observó que las aplicaciones industriales muestran un alto impacto en productividad y una gran precisión en las instrucciones, lo que refuerza su valor en el entorno industrial, donde la eficiencia y la claridad de las guías son críticas. Aunque las aplicaciones educativas también mejoran la productividad, aunque el impacto es menor en comparación con las aplicaciones industriales, probablemente debido a la naturaleza formativa de su uso. La precisión de las instrucciones es alta, pero la **Festo Didactic AR App** tiene una puntuación ligeramente inferior, lo que podría reflejar una curva de aprendizaje mayor para los estudiantes.

Aplicación	Impacto en Productividad (%)	Precisión de las Instrucciones (escala 1-5)
Siemens AR for Maintenance	45%	4.5
Upskill Skylight	50%	4.6
Mobile Worker	38%	4.4
RobotStudio AR Viewer	30%	4.1
Festo Didactic AR App	25%	3.9

Tabla 4. Impacto de las aplicaciones de RA en la reducción de errores y el tiempo de ejecución de tareas.

La figura 7 muestra una gráfica combinada de la comparación entre el **Impacto en Productividad (%)** y la **Precisión de las Instrucciones (escala 1-5)** para cada una de las aplicaciones de RA evaluadas. Esta visualización permite analizar las dos métricas en paralelo para cada aplicación, proporcionando una visión más completa de su desempeño.

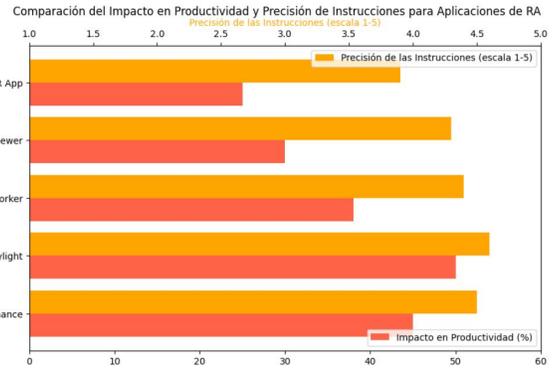


Fig. 7. Gráfico de comparación del Impacto en Productividad VS la Precisión de Instrucciones para aplicaciones de RA.

Como se observa en la figura 7. Las aplicaciones industriales (Siemens AR for Maintenance, Upskill Skylight, Mobile Worker) se destacan en ambas métricas, mientras que las aplicaciones educativas son útiles para la enseñanza, aunque con menor impacto en productividad. También se generó un gráfico combinado que representa el impacto en la productividad y la precisión de las instrucciones para distintas aplicaciones de Realidad Aumentada. Las barras muestran el porcentaje de impacto en productividad, mientras que la línea roja con marcadores indica la precisión de las instrucciones en una escala de 1 a 5. Esto lo apreciamos en la figura 8.

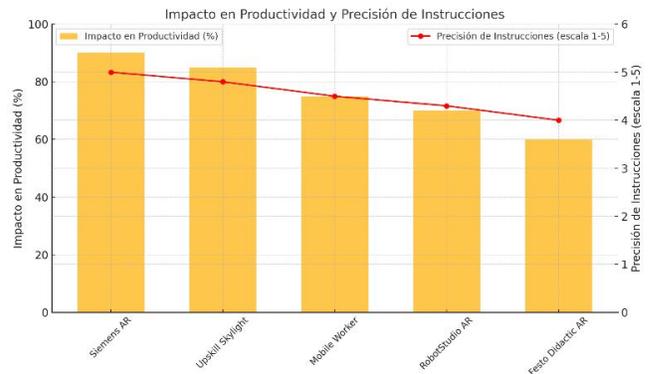


Fig. 8. Gráfico de comparación del Impacto en Productividad VS la Precisión de Instrucciones para aplicaciones de RA

Un Gráfico de radar permitirá visualizar de una forma completa la comparación de las aplicaciones de Realidad Aumentada (RA) en función de varias métricas: facilidad de uso, compatibilidad, eficiencia, precisión y tiempo de adaptación. Este gráfico permite identificar fortalezas y debilidades relativas de cada aplicación en las diferentes categorías. La figura 9 ilustra esta representación.

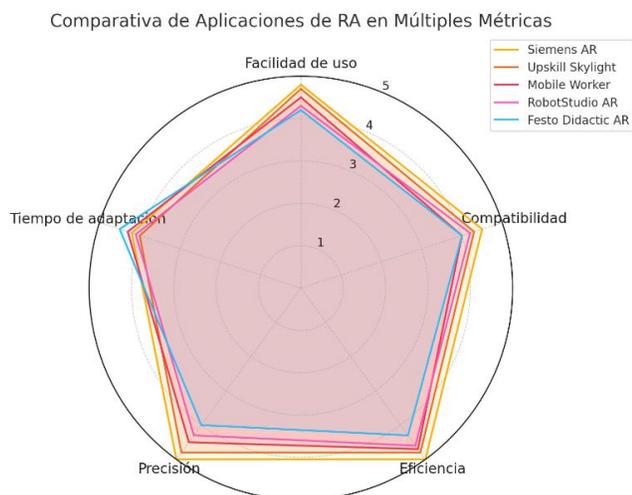


Fig. 9. Gráfico de radar de comparación de múltiples funcionalidades para aplicaciones de RA

V. CONCLUSIONES.

En el análisis general de las aplicaciones, se observaron que las aplicaciones, **Upskill Skylight** y **Siemens AR for Maintenance** demostraron ser las opciones más eficientes y adecuadas para tareas técnicas en entornos industriales. Estas aplicaciones mostraron una mayor capacidad para reducir errores y mejorar la productividad, especialmente en actividades que requieren alta precisión y tiempos de respuesta rápidos. Su facilidad de uso y eficiencia operativa las posicionan como las opciones más recomendadas para la implementación en contextos industriales. Por otro lado, **Mobile Worker** y **RobotStudio AR Viewer**, aunque resultaron ser menos eficientes que las aplicaciones mencionadas anteriormente, demostraron ser buenas opciones para la asistencia técnica. Estas aplicaciones presentan oportunidades de mejora en términos de tiempo de ejecución y precisión, pero aún son útiles en tareas técnicas que no exigen el mismo nivel de rendimiento que las tareas de alta precisión industrial. Finalmente, **Festo Didactic AR App** mostró funcionalidades valiosas para el ámbito educativo, a pesar de no alcanzar el mismo nivel de rendimiento en eficiencia y reducción de errores que las demás aplicaciones evaluadas. Su menor impacto en la mejora de tiempos de ejecución y precisión de tareas la hace menos adecuada para contextos industriales, pero su enfoque educativo la convierte en una herramienta útil en entornos donde el aprendizaje y la comprensión conceptual son la prioridad, en lugar de la ejecución rápida y precisa. Las aplicaciones de RA evaluadas ofrecen beneficios diversos según su contexto de uso. Para aplicaciones industriales que requieren precisión y eficiencia, **Upskill Skylight** y **Siemens AR for Maintenance** se presentan como las mejores opciones. Para asistencia técnica de nivel intermedio, **Mobile Worker** y **RobotStudio AR Viewer** ofrecen funcionalidades adecuadas. **Festo Didactic AR App** destaca en el ámbito educativo, proporcionando una

experiencia de aprendizaje inmersiva, aunque con menor impacto en eficiencia operativa.

VI. DISCUSIONES

Se observó que cada aplicación presenta características distintivas que las hacen más o menos adecuadas según el contexto de uso. Por ejemplo, la aplicación Siemens Augmented Reality for Maintenance demostró una mayor capacidad de integrar datos en tiempo real, lo que mejora la eficiencia en tareas de mantenimiento. Sin embargo, su dependencia de hardware específico puede limitar su accesibilidad en entornos de trabajo más variados. En contraste, la aplicación Festo Didactic AR App demostró ser más versátil al permitir una amplia gama de interacciones educativas, lo que la convierte en una opción favorable para la enseñanza técnica. Aun así, su interfaz puede resultar confusa para usuarios inexpertos, lo que puede afectar su adopción en entornos educativos menos técnicos. Por otro lado, aplicaciones como Mobile Worker y Upskill Skylight se destacaron en la mejora de la formación laboral al ofrecer contenido contextualizado y dinámico. Esto es especialmente valioso en industrias donde la capacitación continua es esencial. Sin embargo, ambas aplicaciones presentaron limitaciones en cuanto a la personalización del contenido, lo que podría reducir su efectividad en entornos muy específicos. Finalmente, el RobotStudio AR Viewer mostró un gran potencial en la simulación y visualización de procesos industriales, pero su uso puede ser restringido a personal con conocimientos avanzados en robótica, lo que limita su aplicabilidad general.

VII. TRABAJOS FUTUROS

Esta investigación abre la oportunidad para generar a múltiples líneas de trabajo futuro que podrían profundizar en la optimización y aplicación de la realidad aumentada en distintos sectores:

Realizar estudios de usabilidad más profundos que analicen la experiencia del usuario en cada aplicación, identificando áreas de mejora.

Investigar la integración de la RA con otras tecnologías emergentes, como inteligencia artificial o Internet de las Cosas, para crear soluciones más completas.

Desarrollar un marco de evaluación estandarizado que permita comparar de manera más efectiva las aplicaciones de RA en diversos contextos.

Explorar la implementación de estas aplicaciones en entornos de trabajo reales para evaluar su impacto en la productividad y la formación del personal.

Estudiar el potencial de la RA en la educación técnica, especialmente en términos de accesibilidad y eficacia en la enseñanza de conceptos complejos.

Este artículo no solo enmarca el trabajo actual en un contexto más amplio de investigación y desarrollo en realidad aumentada, sino que también establece un camino

para que futuros investigadores puedan seguir avanzando en este campo.

REFERENCIAS

- [1] D. C. Claros-Perdomo, E. E. Millán-Rojas, y A. P. Gallego-Torres, "Uso de la realidad aumentada, gamificación y mlearning," *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 29, no. 54, p. e12264, 2019.
- [2] Universidad de Las Américas, "Diseño de un sistema basado en realidad aumentada para la enseñanza de ciencias naturales," [En línea]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12114/1/UDLA-EC-TIRT-2020-12.pdf>. [Accedido: 02-oct-2024].
- [3] J. J. Maquilón Sánchez, A. B. Mirete Ruiz, y M. Avilés Olmos, "La Realidad Aumentada (RA). Recursos y propuestas para la innovación educativa," *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, vol. 20, no. 2, pp. 183–203, abr. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2170/217050478013.pdf>. [Accedido: 07-oct-2024].
- [4] R. Huertas-Abril, "La realidad aumentada en el aula de idiomas: estudio sobre la percepción de los futuros maestros," *Pulso. Revista de Educación*, no. 36, pp. 49–63, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/907/90711287005.pdf>. [Accedido: 15-sep-2024].
- [5] B. L. H. Lara, "La realidad aumentada: una tecnología en espera de usuarios," *Unam.mx*. [En línea]. Disponible en: https://www.revista.unam.mx/vol.8/num6/art48/jun_art48.pdf. [Accedido: 10-ago-2024].
- [6] J. C. Almenara, M. Llorente, y P. R. Graván, "Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación," *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, no. 23, pp. 27–41, 2004.
- [7] M. Mekni y A. Lemieux, "Augmented reality: Applications, challenges and future trends", *Ucf.edu*. [En línea]. Disponible en: <https://www.cs.ucf.edu/courses/cap6121/spr2020/readings/Mekni2014.pdf>.
- [8] C. A. Meneses, "Diseño de un sistema de información geográfica para la gestión del transporte público en la ciudad de Cúcuta," *Repositorio Institucional de la Universidad de Pamplona*, 2017. [En línea]. Disponible en: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5444/1/Meneses_2017_TG.pdf. [Accedido: 3-sep-2024].
- [9] C. Prendes Espinosa, "Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas," *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, no. 46, pp. 187-203, enero-junio 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36832959008>. [Accedido: 20-nov-2024].
- [10] A. G. Chico Fernández de Terán, "La realidad aumentada en la educación: usabilidad y ejemplos de su aplicación," Trabajo de Fin de Grado, Grado Multimedia, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, España, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/97427/9/achicofTFG0619memoria.pdf>
- [11] E. Álvarez Morales, A. Bellezza, y V. Caggiano, "Realidad Aumentada: Innovación en Educación," *Didasc@lía: Didáctica y Educación*, vol. VII, no. 1, pp. 195-204, enero-marzo 2016.
- [12] J. D. O. Ing., M. T. Jorge Carranza Gómez, y E. de la Cruz Gámez, "Aplicaciones móviles basadas en realidad aumentada como herramientas de apoyo al proceso enseñanza-aprendizaje," *Tecnm.mx*. [En línea]. Disponible en: https://acapulco.tecnm.mx/wp-content/uploads/maestria/repositorio/memoria_congreso/45_Juan-Daniel-Oliva-Vazquez.pdf. [Accedido: 12-ago-2024].
- [13] M. Martínez y P. Uriel, "Realidad aumentada y la innovación educativa para el estudio del electromagnetismo con ingenieros en computación," *Unam.mx*. [En línea]. Disponible en: <https://encuentro.educatic.unam.mx/educatic2019/memorias/182.pdf>. [Accedido: 10-nov-2024].
- [14] R. J. Pérez y F. M. García, "Aplicaciones de la realidad aumentada en el ámbito educativo," *Científica*, vol. 22, no. 26, pp. 123–135, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://cientifica.site/pdf/22V26N2.pdf?form=MG0AV3>. [Accedido: 12-oct-2024].
- [15] M. Mekni y A. Lemieux, "Augmented reality: Applications, challenges and future trends," *University of Minnesota, Crookston Campus, TANYT*, Quebec, QC, Canada, 2023.
- [16] Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, Indonesia, y Waskito, "Integration of mobile augmented reality applications for engineering mechanics learning with interacting 3D objects in engineering education," *Int. J. Inf. Educ. Technol.*, vol. 14, no. 3, pp. 354–361, 2024.
- [17] *YouTube*, "Augmented Reality: Applications and Future Trends," [en línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=yowJ5Jn9O4c>. [Accedido: 11-nov-2024].
- [18] *YouTube*, "Virtual Reality and Augmented Reality in Education," [en línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=z2qihAHV6Ys&list=PLWIOviJsUmnkAwWi5PnyBKPIOpMWUMTEM>. [Accedido: 11-nov-2024].
- [19] *YouTube*, "Introduction to Augmented Reality," [en línea]. Disponible en: <https://youtu.be/g2ap32Balpk?si=F7E3D4utu3yqn8vb>. [Accedido: 11-nov-2024].

Biografía Autor(es)

Dario Gael Najar Macías, estudiante del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad académica Tamazula, Jalisco, C.P.49650, email: tm210111202@tamazula.tecnm.edu.mx

Juan José Cuevas Magaña / estudiante del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad académica Tamazula, Jalisco, C.P.49650, email: tm210110501@tamazula.tecnm.edu.mx

Jorge Alberto Cárdenas Magaña. Profesor afiliado al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad académica Tamazula, Jalisco, C.P. 49650 email: jorge.cardenas@tamazula.tecnm.edu.mx, C. Dr. Ingeniería aplicada, Maestro en Energías Renovables. Docente del departamento de Ingeniería Electromecánica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9114-8550>