

Cuaderno



Simulación CNC con realidad aumentada como estrategia de aprendizaje inmersivo para la industria 4.0

CNC Simulation with Augmented Reality as an Immersive Learning Strategy for Industry 4.0

Nicolás López Sánchez¹, Lina Mariana Pinzón Pinzón²

Tipo de Artículo: Investigación.

Recibido: 15/09/2025. **Aprobado:** 20/10/2025. **Publicado:** 11/12/2025

Resumen: la formación técnica en ingeniería presenta grandes desafíos y retos significativos en la era de la Industria 4.0, donde no solo se requieren conocimientos teóricos, sino también competencias digitales, pensamiento crítico y adaptabilidad a entornos tecnológicos. Una de las principales limitaciones en instituciones públicas de educación superior es el acceso restringido a maquinaria especializada como los tornos CNC, lo cual afecta la calidad del aprendizaje práctico. En este contexto, la Realidad Aumentada (RA) se presenta como una alternativa viable para generar experiencias de aprendizaje inmersivo que integren teoría y práctica de forma segura y accesible. La propuesta responde a una necesidad identificada en la Universidad de Cundinamarca y se alinea con

los requerimientos de la Industria 4.0, al ofrecer una solución tecnológica accesible y replicable en contextos con limitaciones de infraestructura. Este artículo expone una investigación de carácter exploratorio sobre el diseño conceptual de un simulador de torno CNC con RA, dirigido a la formación técnica en ingeniería industrial. Se exponen sus fundamentos pedagógicos, tecnológicos y didácticos que sustentan la propuesta, así como su aplicabilidad en instituciones con características similares.

Palabras clave: Realidad aumentada; simulador CNC; aprendizaje inmersivo; educación técnica; industria 4.0.

¹ Autor correspondiente: Nicolás López Sánchez. Filiación institucional: Universidad de Cundinamarca. País: Colombia, Ciudad: Chía. Correo electrónico: nlopezs@ucundinamarca.edu.co ORCID: 0009-0008-5948-4296

² Autor correspondiente: Lina Mariana Pinzón Pinzón. Filiación institucional: Universidad de Cundinamarca. País: Colombia, Ciudad: Chía. Correo electrónico: lmarianapinzon@ucundinamarca.edu.co ORCID: 0009-0007-9445- 9371

Abstract: Technical training in engineering faces significant challenges in the context of Industry 4.0, where theoretical knowledge alone is not enough, and digital skills, critical thinking, and adaptability to technologized environments are essential. One of the main limitations in public higher education institutions is the restricted access to specialized machinery such as CNC lathes, which hinders the quality of practical learning. In this context, Augmented Reality (AR) emerges as a viable alternative to create immersive learning experiences that safely and accessibly integrate theory and practice. This article presents an exploratory study on the conceptual design of a CNC lathe simulator with AR, aimed at technical training in industrial engineering. It explains the pedagogical, technological, and didactic foundations that support the proposal, as well as its viability for institutional contexts with infrastructure limitations.

Keywords: Augmented reality; CNC simulator; immersive learning; technical education; Industry 4.0.

I. Introducción

En la actualidad, los ingenieros no solo deben dominar conceptos técnicos fundamentales, sino también adaptarse rápidamente a entornos industriales altamente digitalizados y en constante transformación. En este contexto surge la denominada Industria 4.0, una nueva etapa en la evolución industrial caracterizada por la integración de tecnologías digitales, que permiten conectar máquinas, procesos y datos en tiempo real para optimizar la producción [1]. Estas exigencias se intensifican, demandando habilidades como el pensamiento computacional, la autonomía, la adaptabilidad a sistemas inteligentes y el manejo de tecnologías emergentes como la Realidad Aumentada (RA), la cual es una tecnología que permite integrar elementos virtuales tales como imágenes, objetos 3D o información, en el entorno real, mediante el uso de cámaras, sensores y software especializado como Vuforia. [2]

Sin embargo, esta visión de formación avanzada contrasta con la realidad que enfrentan muchas ins-

tituciones públicas de educación superior (Flórez, 2025). En estos contextos, la escasez de maquinaria especializada como los tornos CNC (Control Numérico Computarizado), limita significativamente el aprendizaje práctico. Un torno CNC es una máquina herramienta automatizada que, mediante instrucciones digitales conocidas como G-code, permite mecanizar piezas con alta precisión [3].

Su operación tradicional requiere conocimientos técnicos, como la interpretación de planos de fabricación, programación en G-code, selección adecuada de herramientas de corte, ajustes de parámetros de velocidad y avance, así como principios de seguridad industrial y acceso a equipos físicos, lo que aumenta la complejidad y el costo de su implementación en entornos educativos. El G-code es un lenguaje de programación utilizado para controlar máquinas CNC. A través de comandos, este lenguaje define movimientos, velocidades, trayectorias y operaciones que debe ejecutar la herramienta de mecanizado [4]. El dominio de este lenguaje es fundamental para comprender la lógica de funcionamiento de los sistemas CNC y su correspondencia con el entorno digital simulado. Esta brecha entre teoría y práctica no solo afecta el desarrollo de competencias técnicas, sino que también impacta la motivación, la autonomía y la preparación profesional de los estudiantes.

Ante esta problemática, la Realidad Aumentada se presenta como un recurso viable para fortalecer el aprendizaje práctico. Su capacidad de superponer elementos virtuales sobre el entorno físico facilita experiencias inmersivas, seguras y replicables, incluso en condiciones de infraestructura limitada. Investigaciones tales como [5] y [4] han demostrado que la RA mejora la comprensión de conceptos abstractos, fomenta la participación y refuerza el aprendizaje significativo, lo que le convierte en una herramienta de alto potencial para la formación técnica.

Este artículo presenta una investigación de carácter exploratorio centrada en el diseño conceptual de un simulador de torno CNC con apoyo de RA. La propuesta responde a una necesidad identificada en la Universidad de Cundinamarca y se

alinea con los requerimientos de la Industria 4.0, al ofrecer una solución accesible, escalable y adaptada a las condiciones de instituciones con recursos limitados. Se exponen los fundamentos pedagógicos, tecnológicos y didácticos que la sustentan, así como su aplicabilidad como estrategia de aprendizaje inmersivo en el ámbito de la ingeniería. En este caso, el aprendizaje inmersivo se aborda con un enfoque didáctico que busca involucrar activamente al estudiante en experiencias realistas y significativas, favoreciendo la retención y comprensión de los contenidos [6].

La realidad aumentada se puede clasificar en diferentes niveles según la forma en que se integran y reconocen los elementos virtuales en el entorno real. Entre estos, se utiliza la RA basada en marcadores, la cual utiliza imágenes o patrones visuales específicos (tales como códigos QR o imágenes planas) que son detectados por la cámara del dispositivo para superponer contenido digital en posiciones precisas. Este nivel lo se empleo porque facilita la implementación y comprensión de la realidad aumentada el uso de marcadores simplifica la interacción del usuario con el entorno virtual [2].

II. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

Para llevar a cabo el desarrollo de esta propuesta, se parte de una revisión de tres componentes fundamentales. Primero, el torno CNC, el cual constituye una herramienta indispensable en el proceso de mecanizado industrial por su capacidad para ejecutar cortes precisos controlados por instrucciones digitales (G-code). Luego, se considera el enfoque pedagógico de la simulación educativa, entendida como un entorno digital que reproduce condiciones de uso de una herramienta o sistema real con fines de enseñanza y entrenamiento. Un simulador educativo facilita el aprendizaje sin los riesgos ni costos del entorno físico [7] y [8], especialmente como se fundamenta en el modelo de aprendizaje experiencial propuesto por Kolb, el cual plantea que el conocimiento se construye a través de la experiencia directa [9].

En este contexto, Unity se incorpora como la plataforma de desarrollo central para el modelado 3D, interacción y lógica del simulador, debido a su versatilidad, compatibilidad multiplataforma y amplia adopción en proyectos educativos y de realidad aumentada [10]. Finalmente, se incorpora la Realidad Aumentada, una tecnología emergente que ha demostrado su eficacia en ambientes de enseñanza técnica al combinar elementos virtuales con el mundo real de forma interactiva. [2]

Vuforia es una plataforma de desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada (AR) multiplataforma, esta tecnología se utiliza en sectores como la educación, facilitando la visualización y manipulación de información digital en contextos del mundo real [11]. Su SDK (Software Development Kit) permite a desarrolladores de distintas disciplinas colaborar en la creación de aplicaciones que combinan elementos visuales, interactivos y funcionales, enriqueciendo la experiencia del usuario como por ejemplo en la formación académica e industrial [12].

En este punto es importante destacar que la ejecución del simulador no requiere infraestructura especializada ni equipos de alto costo. Para su funcionamiento basta con un dispositivo móvil de uso cotidiano que cumpla condiciones mínimas: al menos 2 GB de memoria RAM, 500 MB de espacio de almacenamiento disponible, conexión a internet estable y una cámara integrada. Se sugiere que el dispositivo no supere los cinco años de antigüedad, de modo que cuente con la capacidad de procesamiento y compatibilidad necesarias para ejecutar aplicaciones en Unity con Vuforia de manera fluida. Estas especificaciones aseguran la accesibilidad del simulador a la mayoría de los estudiantes sin requerir inversión adicional en hardware.

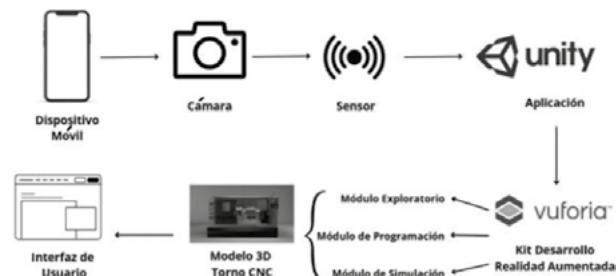
2.2 Métodos

La metodología empleada es de tipo exploratorio y documental, basada en la recopilación y análisis de fuentes bibliográficas, artículos científicos y estudios de caso relacionados con la implementación de tecnologías inmersivas en entornos educativos. Además, se realizó una revisión interna de las condiciones de infraestructura tecnológica en la Universidad de Cundinamarca, con el fin de identificar las necesidades específicas a las que podría responder el simulador.

El diseño propuesto del simulador contempla tres módulos interactivos que permiten al estudiante pasar progresivamente del reconocimiento de la máquina a su programación y, finalmente, a la simulación del proceso de mecanizado. Las herramientas tecnológicas previstas para el desarrollo incluyen Unity para el modelado e interacción 3D, y Vuforia como motor de RA para su integración en dispositivos móviles. Esta elección responde a su compatibilidad con plataformas accesibles y su capacidad de ofrecer experiencias inmersivas sin requerir hardware costoso o especializado.

El modelo de aprendizaje experiencial de Kolb, según [9] se basa en un ciclo de cuatro etapas: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa. Este ciclo permite que el aprendiz se involucre directamente en una actividad, reflexione sobre ella, genere conceptos teóricos y luego aplique esos conceptos en nuevas situaciones. En este contexto, el modelo es especialmente relevante, ya que la simulación con RA ofrece una experiencia concreta e inmersiva que facilita la reflexión y el aprendizaje activo, lo que alinea con las necesidades de formación práctica y adaptativa que demanda la Industria 4.0. Así, el modelo de Kolb sustenta la eficacia de la RA para promover un aprendizaje profundo y significativo en entornos industriales modernos.

Figura 1. Arquitectura del Simulador CNC con RA



Nota: fuente elaboración propia (2025).

Como se muestra en la Figura 1, la arquitectura del simulador CNC con Realidad Aumentada fue diseñada bajo principios de accesibilidad, modularidad y viabilidad pedagógica, con el objetivo de responder a las limitaciones de infraestructura presentes en muchas instituciones públicas de educación superior. Esta propuesta integra tecnologías de bajo costo y uso extendido, como dispositivos móviles convencionales, aprovechando los recursos ya disponibles en el entorno estudiantil. La cámara y los sensores de estos dispositivos permiten la implementación de la capa de realidad aumentada mediante el motor Vuforia, mientras que Unity, por su versatilidad y adopción en el ámbito educativo, se utiliza como plataforma central para el modelado 3D, la lógica de interacción y la integración de los módulos del sistema.

La estructura se compone de tres módulos pedagógicos diferenciados: el exploratorio (visualización e identificación del torno), el de programación (ejecución y validación de G-code) y el de simulación (representación animada del proceso de mecanizado). Esta estructura modular permite replicar el flujo de trabajo industrial real sin inversión en maquinaria física, resolviendo así la carencia de laboratorios especializados identificada en la Universidad de Cundinamarca.

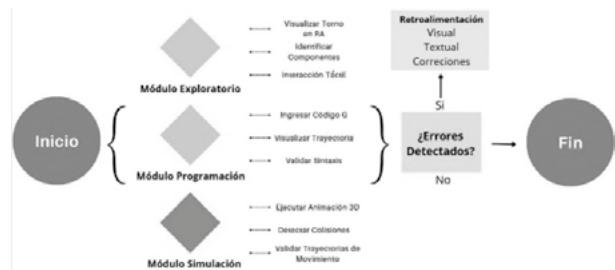
III. Resultados

La propuesta del simulador de torno CNC con RA surge como una respuesta innovadora frente a la limitada disponibilidad de equipos físicos para la formación técnica en instituciones como la Universidad de Cundinamarca. En este caso, el resultado central de esta etapa de la investigación es un prototipo inicial, que combina integración de simulación y tecnologías inmersivas para favorecer el aprendizaje práctico, el cual incluye los diferentes módulos:

- **Módulo Exploratorio:** permite al estudiante visualizar el torno CNC en un entorno aumentado e identificar sus partes, funciones y mecanismos. Este módulo busca familiarizar al usuario con el entorno físico de la máquina mediante una experiencia visual y táctil asistida por marcadores o reconocimiento de planos.
- **Módulo de Programación:** en esta fase, el usuario podrá ingresar comandos en código G y visualizar la trayectoria que seguirá la herramienta. Este módulo permite que el estudiante relacione la lógica del código con su efecto en el mecanizado, promoviendo el razonamiento lógico y el análisis de errores.
- **Módulo de Simulación:** una vez programado el torno, el sistema ejecuta una animación que representa el proceso de mecanizado en 3D. El estudiante podrá observar los movimientos, identificar posibles fallas como colisiones o trayectorias inválidas, y recibir retroalimentación inmediata, ya sea visual o textual.

La posibilidad de simular operaciones reales sin exponerse a riesgos físicos y sin generar costos de material convierte esta herramienta en una solución particularmente ventajosa para entornos educativos, especialmente en instituciones donde el acceso a maquinaria real es limitado o nulo.

Figura 2. Flujo de interacción del estudiante con los módulos del simulador CNC



Nota: fuente elaboración propia (2025).

La Figura 2 presenta el flujo de interacción del estudiante con los módulos del simulador CNC con Realidad Aumentada, estructurado en una secuencia pedagógica diseñada para emular el aprendizaje en entornos productivos reales. Este flujo inicia en el Módulo Exploratorio, donde el estudiante interactúa táctilmente con la visualización aumentada del torno, lo que facilita el reconocimiento de sus componentes y disminuye la curva de aprendizaje inicial. A continuación, en el Módulo de Programación, el usuario ingresa comandos en lenguaje G-code, visualiza la trayectoria esperada de la herramienta en RA y valida la sintaxis del código. Posteriormente, el sistema ejecuta una simulación en 3D que permite observar el comportamiento físico del mecanizado virtual.

En caso de errores como trayectorias inválidas o colisiones, se activa un sistema de retroalimentación visual y textual que orienta al estudiante en el proceso de corrección. Este ciclo de validación y ajuste finaliza una vez que los movimientos son exitosamente ejecutados. El flujo no solo representa una secuencia técnica, sino una ruta de aprendizaje experiencial fundamentada en la acción, la reflexión y la mejora progresiva. Al permitir la experimentación sin riesgos ni desperdicio de materiales, esta interacción encarna el principio de "aprender haciendo", clave en la formación técnica, especialmente en instituciones con recursos limitados.

Figura 3. Articulación entre los módulos y el ciclo experiencial de Kolb (Ciclo de Kolb aplicado al simulador)



Nota: fuente elaboración propia (2025).

La Figura 3 ilustra la articulación entre los módulos del simulador y el ciclo de aprendizaje experiencial propuesto por Kolb, evidenciando la coherencia pedagógica sobre la cual se construyó su diseño instruccional. En este modelo, el aprendizaje se estructura como un proceso cíclico compuesto por cuatro fases interconectadas: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa.

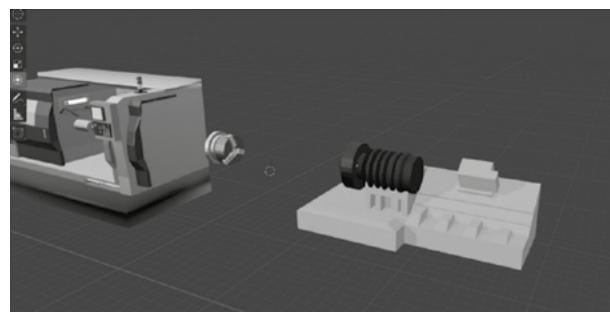
En el contexto del simulador, el Módulo Exploratorio se vincula directamente con la experiencia concreta, al permitir al estudiante manipular visualmente los componentes del torno en un entorno aumentado. Posteriormente, durante la fase de observación reflexiva, el usuario analiza los resultados generados por la simulación en 3D, identificando errores de ejecución o trayectorias incorrectas.

Esta reflexión da paso a la conceptualización abstracta, representada por el ingreso y ajuste del código G, donde se aplican conocimientos teóricos para prever y modelar el comportamiento de

la herramienta. Finalmente, la experimentación activa ocurre cuando el sistema retroalimenta al estudiante con resultados inmediatos, impulsando la mejora continua a través del reintento y la corrección.

Esta articulación no solo fortalece el aprendizaje práctico, sino que también impulsa el desarrollo de competencias metacognitivas como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la adaptabilidad, competencias que resultan fundamentales en los entornos industriales avanzados propios de la Industria 4.0.

Figura 4. Modelos elaborados en Blender para el prototipo inicial



Nota: fuente elaboración propia (2025).

La Figura 4 muestra los modelos tridimensionales elaborados en Blender que dieron forma al prototipo inicial del simulador CNC con Realidad Aumentada. Estos modelos constituyen la representación digital del torno y sus diferentes partes, tanto internas como externas, los cuales son fundamentales para articular los diferentes módulos descritos previamente y al ser integrados posteriormente en Unity y Vuforia, los modelos permiten al estudiante interactuar con una réplica virtual del torno CNC, facilitando tanto la identificación de partes como la comprensión del efecto del código G sobre el proceso de mecanizado.

IV. Discusión

Esta propuesta permite reflexionar sobre el papel transformador que puede tener la tecnología inmersiva en la educación técnica. La Realidad Aumentada no solo posibilita la reproducción digital en entornos de aprendizaje, sino que también brinda al estudiante la oportunidad de interactuar con ellos, favoreciendo la apropiación del conocimiento a través de la experiencia.

En la Universidad de Cundinamarca, este tipo de herramienta puede ser particularmente útil, ya que se ajusta a las restricciones presupuestales y, al mismo tiempo, mejora las condiciones de aprendizaje práctico. La propuesta no pretende reemplazar las prácticas físicas, sino complementarlas, ofreciendo al

estudiante la posibilidad de entrenarse previamente y cometer errores sin consecuencias reales.

Autores como [1] y [13] destacan que este tipo de simulaciones permiten aplicar metodologías activas, fomentando la autonomía, la motivación y la resolución de situaciones reales. Asimismo, la implementación de esta tecnología estaría aliñada con los objetivos de la Industria 4.0, que exige egresados con habilidades digitales avanzadas, pensamiento crítico y capacidad de adaptación a entornos inteligentes. Desde una perspectiva institucional, la viabilidad de este proyecto radica en su escalabilidad, bajo costo de implementación comparativa y potencial de adaptarse a otros procesos industriales.

Tabla 1. Tabla comparativa: Simulador RA vs Método tradicional

Criterio	Realidad Aumentada (RA)	Método Tradicional
Accesibilidad	Disponible en cualquier dispositivo móvil	Requiere laboratorio físico
	Acceso ilimitado	Horarios restringidos
Costo	Baja inversión inicial	Alta inversión en maquinaria
	Sin costos de mantenimiento	Costos de mantenimiento
Seguridad	Sin consumo de materiales	Consumo de materiales
	Entorno virtual sin riesgos	Riesgo de accidentes
Retroalimentación	Permite cometer errores sin consecuencias	Daño a piezas o errores
	Inmediata y visual	Tarda en detectarse
Flexibilidad	Detección automática de errores	Destructiva (material dañado)
	Corrección en tiempo real	Requiere intervención constante
Preparación 4.0	Aprendizaje autónomo	Depende de recursos físicos
	Escenarios personalizables	Escenarios limitados
	Actualizaciones remotas	Actualizaciones costosas
	Desarrollo de competencias digitales	Enfoque en habilidades tradicionales
	Familiariza con tecnologías emergentes	Desactualización tecnológica
	Promueve pensamiento computacional	Brecha digital

Nota: fuente elaboración propia (2025).

La Tabla 1 presenta una comparación estructurada entre el método tradicional de enseñanza y la implementación de un simulador basado en Realidad Aumentada (RA), destacando sus ventajas en términos de accesibilidad, costo, seguridad, retroalimentación, flexibilidad y preparación para la Industria 4.0. La RA permite el acceso ilimitado desde cualquier dispositivo móvil, lo cual elimina la dependencia de laboratorios físicos y horarios restringidos, favoreciendo una mayor equidad e inclusión educativa [14].

En cuanto al costo, aunque el desarrollo e implementación de soluciones de realidad aumentada (RA) puede implicar una inversión inicial significativa, especialmente en el desarrollo de software y adquisición de dispositivos, diversos estudios muestran que esta inversión se amortiza rápidamente. La RA elimina gastos recurrentes asociados al consumo de materiales físicos y reduce la necesidad de mantenimiento de maquinaria, lo que la convierte en una alternativa rentable para instituciones con recursos limitados.

Además, al facilitar el acceso a contenidos digitales y simulaciones virtuales, se reducen costos logísticos como transporte y materiales impresos, generando un ahorro sustancial a mediano y largo plazo. Por ejemplo, la formación basada en tecnologías inmersivas puede reducir hasta en un 50% los costos totales cuando se aplica a grupos numerosos, gracias a la eficiencia en el tiempo de aprendizaje y la reutilización de recursos digitales [15], [16].

Uno de los diferenciales más relevantes es la seguridad, ya que el entorno virtual sin riesgos, permite que los estudiantes cometan errores sin consecuencias materiales o físicas, una característica esencial frente a los accidentes comunes en talleres tradicionales [17]. Además, la RA proporciona retroalimentación inmediata, con detección automática de errores y visualización de resultados, facilitando un aprendizaje autónomo y personalizado que potencia la autorregulación del estudiante [18]. Esta flexibilidad se refleja también en la capacidad de personalizar escenarios y realizar actualizacio-

nes remotas, aspectos que resultan imposibles en entornos físicos rígidos.

En el contexto formativo, el simulador con RA también responde a las demandas de la Industria 4.0, al fomentar competencias digitales, pensamiento computacional y familiarización con tecnologías emergentes [19]. Mientras tanto, el enfoque tradicional tiende a perpetuar habilidades desactualizadas, lo que puede generar una brecha tecnológica en los egresados. No obstante, es importante reconocer desafíos adicionales como el acceso desigual a la tecnología, la necesidad de capacitación docente y las consideraciones éticas asociadas al uso de datos [20]. A pesar de estos retos, la RA representa una transformación significativa de la experiencia educativa, alineándola con las exigencias del entorno productivo actual.

Es importante señalar que, aunque existen antecedentes de simuladores en torno CNC apoyados en realidad virtual [1], [4], hasta el momento no se han identificado experiencias documentadas que utilicen específicamente la realidad aumentada para la simulación de un torno CNC. En este sentido, el presente trabajo constituye una aproximación novedosa al integrar RA en este campo.

En el caso de la Universidad de Cundinamarca la incorporación del simulador de torno CNC con Realidad Aumentada en la malla curricular puede realizarse de manera gradual en asignaturas como Modelación Computacional (cuarto semestre) o Procesos de Mecanizado (quinto semestre), en las cuales los estudiantes inician el contacto formal con la programación de CNC y el análisis de trayectorias.

La estrategia de implementación contempla que el docente introduzca el software durante las sesiones teóricas, explicando los requerimientos básicos de instalación en dispositivos móviles, así como el uso de marcadores previamente preparados en el aula. Gracias a que el simulador está organizado en módulos explicativos, explorativos y prácticos, se facilita su integración tanto en actividades de clase como en tareas individuales. Por ejemplo, el estudiante puede desarrollar de

manera autónoma la práctica #1 en su dispositivo, mientras que en la sesión presencial se discuten los errores más frecuentes y se realizan ejercicios de corrección guiados. Este modelo de adopción no solo permite fortalecer el aprendizaje experiental, sino que también amplía las oportunidades de práctica sin depender de la disponibilidad de equipos físicos del laboratorio.

V. Conclusiones

Los desafíos actuales en la educación técnica requieren respuestas creativas, viables y adaptadas a las realidades institucionales. En este caso, el diseño conceptual del simulador de torno CNC con Realidad Aumentada se presenta como una estrategia que no solo responde a una necesidad identificada en la Universidad de Cundinamarca, sino que también constituye un primer paso hacia las competencias que exige la Industria 4.0.

Más allá de ser una alternativa tecnológica, esta propuesta y su prototipo representa un cambio en la manera de concebir el aprendizaje práctico, la posibilidad de integrar simulación, interactividad y retroalimentación inmediata en un entorno accesible y seguro permite al estudiante aprender haciendo, teniendo en cuenta sus errores y mejorando progresivamente.

Asimismo, el enfoque pedagógico empleado, basado en el aprendizaje experiental, demuestra que el uso de RA no debe limitarse a reproducir escenarios físicos, sino que puede generar nuevas formas de enseñar, más significativas y motivadoras. Al facilitar la comprensión del código G, simular procesos reales y permitir múltiples intentos sin consecuencias físicas, el simulador se convierte en un puente entre la teoría y la práctica, especialmente útil en contextos donde los recursos son limitados.

Finalmente, aunque el simulador aún no se ha implementado en su totalidad, su diseño conceptual, su fundamentación técnica y prototipo sientan las bases para avanzar hacia una validación en el aula. Este paso será clave para medir su impacto real en el aprendizaje, recoger percepciones de

estudiantes y docentes, y escalar su uso a otros procesos industriales o instituciones con características similares.

VI. Referencias

- [1] H. R. García Mira, "Desarrollo de un entorno inmersivo para el manejo de un torno Fagord-CNC," Tesis de grado, Universidad de Cantabria, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/35784>.
- [2] T. Cárdenas López, "Sistema de realidad aumentada para la capacitación en un torno industrial por medio de la detección de marcadores basados en descriptores clásicos," M.S. thesis, Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., Aguascalientes, Ags., México, 2021.
- [3] J. A. Robayo, "Diseño de un sistema de realidad virtual escalable para simular la utilización de un torno híbrido industrial," Tesis de M.S., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83814>
- [4] E. R. Pozo Safla, S. M. Aquino Arroba, and M. A. Ordoñez Viñán, "Ampliación de la realidad virtual en el mecanizado mediante torno CNC de un peón de ajedrez," Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, vol. 6, no. 5, pp. 1234-1258, 2021.
- [5] J. Cabero-Almenara, E. Vázquez-Cano, and E. López-Meneses, "Use of Augmented Reality Technology as a Didactic Resource in University Teaching," Formación universitaria, vol. 11, no. 1, pp. 25-34, 2018. DOI: 10.4067/S0718-50062018000100025.
- [6] J. B. Ayala Pezzutti et al., "Mundos virtuales y el aprendizaje inmersivo en educación superior," Propósitos y Representaciones, vol. 8, no. 1, 2020. DOI: 10.20511/pyr2020.v8n1.430.

- [7]** J. B. Ayala Moreno, O. L. Agudelo Velásquez, and R. N. Lizcano Reyes, "El uso de simuladores en el aula, una mirada desde la investigación en tecnologías educativas en Colombia," in EDUCACIÓN con TECnología: un compromiso social. Aproximaciones desde la investigación y la innovación, 2018, pp. 267-272. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8278565>.
- [8]** G. A. Contreras Gelves and P. Carreño Moreno, "Simuladores en el ámbito educativo: Un recurso didáctico para la enseñanza," Ingenium, vol. 13, no. 25, pp. 107-119, 2012.
- [9]** E. M. Espinar Álava and J. A. Vigueras Moreno, "El aprendizaje experiencial y su impacto en la educación actual," Revista Cubana de Educación Superior, vol. 39, no. 3, 2020. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0257-43142020000300012&lng=es&nrm=iso&tlang=es.
- [10]** N. A. Jaramillo Aguiar and R. E. Macas Narváez, "Desarrollo de una aplicación móvil con realidad aumentada que apoye el proceso de enseñanza—Aprendizaje del uso de los equipos del Laboratorio de Máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) de la Carrera de Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana," Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19078>.
- [11]** Unity Technologies, "Unity User Manual (2018.4)," [En línea]. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/Unity-Manual.html>. Consultado: 19 de septiembre de 2025.
- [12]** R. A. Lobo Quintero, J. S. Santoyo-Díaz, and W. Briceño-Pineda, "EducAR: uso de la realidad aumentada para el aprendizaje de ciencias básicas en ambientes educativos y colaborativos," Revista Digital Educación En Ingeniería, vol. 14, núm. 27, pp. 65-71, 2019, doi: 10.26507/rei.v14n27.930.
- [13]** Y. Forero Páez, "Empleo de la simulación como estrategia de enseñanza en Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma de Manizales UAM®," Tesis de grado, Repositorio Institucional UNAL, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58965>.
- [14]** J. C. Almenara, B. F. Róbles, and V. M. Díaz, "Dispositivos móviles y realidad aumentada en el aprendizaje del alumnado universitario," RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, vol. 20, no. 2, pp. Article 2, 2017. DOI: 10.5944/ried.20.2.17245.
- [15]** "¿Es más cara la formación en Realidad Virtual?," Innovae, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.innovae.com/es-mas-cara-la-formacion-en-realidad-virtual-que-la-tradicional/>. [Consultado: 18 de junio de 2025].
- [16]** "Realidad aumentada en la educación: 8 ejemplos de su uso," Mundana. [En línea]. Disponible en: <https://www.mundana.us/blog/realidad-aumentada-en-la-educacion>. [Consultado: 18 de junio de 2025].
- [17]** J. F. Cadavieco, M. Á. P. Sevillano, and M. F. M. F. Amador, "Realidad Aumentada, Una Evolución De Las Aplicaciones De Los Dispositivos Móviles," Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación, vol. 41, pp. 197-210, 2012.

- [18] J. C. Almenara, J. B. Osuna, and Ó. G. Pérez, "La producción de objetos de aprendizaje en realidad aumentada por los estudiantes. Los estudiantes como prosumidores de información," *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, pp. 15-46, 2018. DOI: 10.51302/tce.2018.221.
- [19] C. P. Espinosa, "Realidad aumentada y educación: Análisis de experiencias prácticas," *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, vol. 46, pp. 187-203, 2015.
- [20] H. A. C. Ruiz, F. Y. M. Jiménez, and M. J. S. Barón, "Realidad aumentada (RA): Aplicaciones y desafíos para su uso en el aula de clase," *Educación y Ciudad*, vol. 35, pp. Article 35, 2018. DOI: 10.36737/01230425.v0.n35.2018.1969.