

Formación en competencias para la transición de la industria 4.0 y 5.0: una revisión de la literatura

Competency development for the industry 4.0 and 5.0 transition: a literature review

M. A. Ojeda-Enriquez  ; M. A. Osorio-Sanabria 

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.26380>

Scientific and technological research paper

Abstract— The shift toward increasingly digital and human-centered industrial environments has led engineering faculties to re-examine their professional training models. This paper analyzes previous studies in three key areas: the evolution of Industries 4.0 and 5.0, emerging engineering competencies, and the asymmetries between university curricula and the productive sector's demands in Colombia. The reviewed studies show that the curricular incorporation of digital competencies is partial and fragmented, highlighting the lack of pedagogical frameworks that articulate the technical, technological, and transversal dimensions required for the transition from Industry 4.0 to Industry 5.0. Furthermore, active learning methodologies and direct collaboration between academia and industry can help reduce this gap. The study argues that a training strategy relevant to the Colombian context should integrate curricular assessments, internationally recognized competency frameworks, active pedagogies, and expert validation.

Index Terms— Competency based education, Curricular alignment, Higher education, Industry 4.0, Industry 5.0.

Resumen— El avance hacia entornos industriales cada vez más digitales y humanocéntricos lleva a las facultades de ingeniería a examinar los modelos de formación profesional. Este trabajo analiza estudios previos en torno a tres ejes: la evolución de las industrias 4.0 y 5.0, las competencias emergentes en ingeniería, las asimetrías entre los currículos universitarios y las demandas del sector productivo en Colombia. Los estudios revisados muestran que la incorporación curricular de competencias digitales es parcial y fragmentada, lo que evidencia la carencia de marcos pedagógicos que articulan las dimensiones técnicas, tecnológicas y transversales requeridas para la transición de la Industria 4.0 hacia la Industria 5.0. Además, las metodologías activas de aprendizaje y la vinculación directa entre la academia y la industria son estrategias para reducir dicha brecha. El estudio sostiene que una estrategia formativa pertinente al contexto colombiano debería integrar diagnósticos curriculares, marcos de competencias reconocidos internacionalmente, pedagogías activas y la validación por expertos.

Palabras claves— Alineación curricular, Educación basada en competencias, Educación superior, Industria 4.0, Industria 5.0.

This manuscript was submitted on June 27, 2026, accepted on September 08, 2026, and published on September 30, 2026. This work was supported by the Institution Universitario ITM.

Miguel Antonio Ojeda Enriquez is a Magister in Software Engineering and researcher in the field of Software Engineering and Computer Science at the Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín, Colombia e-mail: miguelojeda@itm.edu.co.

I. INTRODUCCIÓN

EN el escenario actual; la formación en ingeniería demanda trascender al uso de herramientas tecnológicas. El entorno laboral busca profesionales con un pensamiento crítico real, capaces de conectar con otras disciplinas, comprometidos éticamente con el impacto social y ambiental de los desarrollos, orientados hacia el autoaprendizaje permanente. En este contexto, articular el dominio técnico, los fundamentos disciplinares y las competencias transversales dentro del diseño curricular constituye un requisito imperativo para las Instituciones de Educación Superior [1], [2].

En Colombia, esta preocupación es especialmente visible. Aunque el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 prioriza la transformación digital a escala nacional [3], la literatura advierte que los currículos de ingeniería incorporan estas competencias de forma fragmentada y con marcadas asimetrías, lo que evidencia la carencia de enfoques pedagógicos orientados hacia el paradigma humanocéntrico de la Industria 5.0 [4]. A esto se adiciona el débil vínculo entre las universidades y el sector productivo, una desconexión que perpetúa una brecha entre las competencias de los egresados y las demandas reales de las organizaciones [5].

A partir de lo anterior, la presente revisión plantea la siguiente pregunta central: ¿Qué lineamientos pedagógicos, competenciales y curriculares reporta la literatura científica como pertinentes para estructurar la formación en ingeniería frente a las exigencias de la Industria 5.0 en el contexto colombiano? Este interrogante orienta el análisis interpretativo de la literatura que se desarrolla a lo largo del artículo, cuyo propósito es identificar referentes pertinentes para una formación ajustada a las nuevas demandas industriales.

El recorrido inicia con los fundamentos conceptuales que sitúan el tránsito de la Industria 4.0 (I4.0) hacia la Industria 5.0 (I5.0) y las competencias que este escenario exige; continúa con la estrategia metodológica utilizada para seleccionar y analizar las fuentes consultadas; avanza hacia los hallazgos, agrupados

Mariutsi Alexandra Osorio Sanabria is a Ph.D. in Engineering, Magister in Information and Communication Technologies, and Systems Engineer. She is a researcher in the field of Computer Science and a member of the Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales (AEyCC) Research Group at the Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín, Colombia e-mail: mariutsiosorio@itm.edu.co.



en torno a las brechas curriculares, las competencias para la empleabilidad y las respuestas pedagógicas identificadas en la literatura, y cierra con una lectura integrada de estos resultados junto con las conclusiones, las limitaciones y las líneas de continuidad del estudio.

II. FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

A. *Industria 5.0: Continuidad y transformación*

Comprender la I5.0 exige partir de la infraestructura digital consolidada durante la I4.0, caracterizada por la integración de sistemas ciberfísicos (CPS, por su sigla en inglés), Internet de las Cosas (IoT, por su sigla en inglés), automatización y entornos digitales interconectados para el control de activos en tiempo real, con el soporte de la computación en la nube distribuida [6]. La robótica colaborativa alteró las rutinas laborales al operar junto al personal, en tanto que la Inteligencia Artificial (IA) fortaleció la toma de decisiones técnicas.

No obstante, el modelo de I4.0 orientado a la eficiencia expuso limitaciones al centrarse en la optimización de procesos en lugar de mejorar las condiciones de trabajo. De otra parte, la automatización generalizada generó tensiones que el enfoque productivista no pudo resolver, tales como, la distribución equitativa de los beneficios de la productividad, la reducción de la huella ecológica digital y la recualificación de trabajadores en roles susceptibles de obsolescencia quedaron sin respuesta.

La I5.0 emerge como una respuesta a estas limitaciones y propone orientar el desarrollo tecnológico hacia la centralidad humana, la sostenibilidad y la resiliencia [8]. Esta transición también ha sido interpretada como un desplazamiento desde un enfoque prioritariamente tecnocéntrico hacia un modelo sociotécnico en el que las capacidades humanas adquieren una función articuladora [7].

En el contexto de la educación superior, esta transición tiene una implicación en los programas de ingeniería, dado que no pueden limitarse a formar talento humano competente en el uso de herramientas digitales. En su lugar, deben aportar en la formación de profesionales capaces de evaluar las consecuencias éticas, sociales y ambientales del uso de las tecnologías que diseñan e implementan. Atender este reto requiere currículos con orientación interdisciplinaria, en los cuales el conocimiento técnico se articule con la formación humanística, la responsabilidad social y la comprensión de las consecuencias de la innovación [9].

B. *Competencias para los nuevos entornos industriales*

En la educación superior, poseer una competencia implica saber combinar habilidades, conceptos teóricos y actitudes para resolver problemas en contextos caracterizados por la imprevisibilidad [9]. Dado que los desafíos que enfrentan las organizaciones actuales no responden a fórmulas técnicas lineales, este modelo educativo se distancia de la transmisión unidireccional de contenidos.

Al examinar los perfiles de ingeniería asociados a la I4.0 y la I5.0, las competencias se agrupan en tres dimensiones que se retroalimentan en la práctica. Las competencias técnicas comprenden el dominio de métodos, herramientas y conocimientos especializados necesarios para resolver problemas propios de la disciplina. Sin embargo, el efecto sobre el desempeño profesional depende de la complementariedad con capacidades de comunicación, colaboración y adaptación [10]. En los entornos productivos digitalizados, también adquieren relevancia las habilidades de ciencia de datos, gestión de información y análisis de procesos [5]. Más allá del uso operativo, las competencias tecnológicas exigen la comprensión crítica, la evaluación y la transformación de herramientas. Esta perspectiva orienta el diseño de soluciones en IA, automatización industrial, ciberseguridad e IoT [2], y sitúa al ingeniero como actor clave en el desarrollo de ecosistemas digitales. Las competencias transversales articulan las dos dimensiones anteriores mediante la comunicación estratégica, la inteligencia emocional, el trabajo en equipo y el juicio ético.

C. *La educación universitaria ante las nuevas demandas del empleo*

El distanciamiento entre lo que enseñan las universidades y lo que requieren las empresas no es reciente, pero frente a las exigencias de las I4.0 y la I5.0 adquiere mayor urgencia. Li et al. en [5] documentaron una brecha entre las habilidades de ciencia de datos y el conocimiento especializado requeridos por la industria manufacturera y las capacidades disponibles en los perfiles profesionales analizados. En Colombia, Giraldo-Marín et al. [4] identificaron que la incorporación de competencias digitales relacionadas con la I4.0 en los currículos de ingeniería continúa siendo desigual y fragmentada, lo que evidencia la necesidad de fortalecer la articulación con las demandas actuales del sector productivo.

Jaime et al. en [6] analizaron la preparación de la fuerza laboral frente a la Industria 4.0 y señalaron la necesidad de fortalecer la formación en competencias asociadas con la transformación digital. Pacher et al. en [11] desarrollaron perfiles de competencias clave para la formación técnica en logística industrial bajo el paradigma de la I5.0, un marco con lineamientos operativos adaptables a contextos latinoamericanos.

Cerrar esta brecha requiere una alianza dinámica entre las universidades y el sector empresarial que vaya más allá de las consultas periódicas sobre actualizaciones curriculares. La creación de mecanismos de articulación puede facilitar que las instituciones comprendan mejor las necesidades del sector productivo y que las organizaciones participen en la actualización de los procesos formativos [9], [12]

D. *Directrices curriculares y estrategias didácticas para la industria 4.0 y 5.0*

El primer paso para orientar programas de ingeniería hacia la I4.0 y la I5.0 consiste en establecer un balance curricular

capaz de distinguir las competencias ya consolidadas, las que se enseñan de manera incompleta y las que aún no forman parte del plan de estudios frente a lo que demanda el sector productivo. Ese balance sienta las bases para adoptar marcos de referencia que estructuren los conocimientos, las habilidades y las actitudes propias del perfil de los nuevos ingenieros.

Pelaez-Sanchez et al. en [14] examinaron instrumentos para evaluar competencias digitales en la educación superior y encontraron que estos deben articularse con capacidades clave para la I5.0, entre ellas la creatividad, la comunicación, la colaboración y el pensamiento crítico. Esta evidencia respalda una formación que no se limite al uso técnico de la tecnología, sino que integre sus dimensiones técnica, digital y transversal.

De otra parte, también se destaca la utilidad de las metodologías activas vinculadas con problemas industriales reales, los entornos de simulación CPS y los laboratorios digitales desarrollados con participación de actores externos [9], [12]. Estas estrategias permiten aproximar al estudiante a escenarios profesionales auténticos y favorecen el desarrollo integrado de conocimientos especializados, trabajo colaborativo, toma de decisiones y adaptación a situaciones de incertidumbre.

III. METODOLOGÍA

Este estudio es de tipo exploratoria a partir de una revisión de la literatura y el análisis de contenido con orientación analítico-interpretativa. La enseñanza en competencias orientada a las I4.0 y la I5.0 constituye un campo emergente, caracterizado por la diversidad metodológica y los variados niveles de análisis. Frente a esa heterogeneidad, la revisión de literatura permite recopilar, organizar e interpretar hallazgos provenientes de trabajos académicos y, a partir de ellos, identificar brechas formativas.

La búsqueda de literatura se realizó en las bases de datos Scopus y OpenAlex, por la cobertura selectiva de literatura científica y por la capacidad de ampliar la recuperación de publicaciones y relaciones bibliográficas. La estrategia combinó descriptores y operadores booleanos en español e inglés, organizados en torno a tres temáticas: competencias técnicas, tecnológicas y transversales; educación superior, diseño curricular y empleabilidad; y transformación industrial, “Industria 4.0” e “Industria 5.0”. A partir de los lineamientos PRISMA 2020 [13] se orientó el proceso de identificación, cribado y selección de documentos, adaptados al alcance analítico-interpretativo de esta revisión para garantizar la trazabilidad y la transparencia metodológica.

Para los criterios de elegibilidad, se seleccionaron investigaciones empíricas y de reflexión teórica editadas entre 2021 y 2026, cuyas contribuciones se relacionaran con dos dimensiones analíticas complementarias: a) la formación de ingenieros en el ámbito universitario enfocada en entornos fabriles avanzados; y b) los requerimientos del entorno socioproductivo, el desarrollo laboral y las capacidades más cotizadas por las corporaciones, orientados a generar pautas para la reconfiguración de planes de estudio. Dentro de este

proceso, se dio prioridad a la literatura generada en Latinoamérica, buscando contrastar las macro tendencias globales con las particularidades del contexto regional.

Se excluyeron documentos centrados exclusivamente en aplicaciones tecnológicas específicas sin conexión explícita con la educación en ingeniería, la pertinencia curricular o las necesidades del mercado laboral. También se descartaron trabajos cuyo alcance se restringía al ámbito industrial u organizacional sin aportar perspectivas útiles sobre competencias, demandas o brechas educativas.

Una vez consolidado el conjunto de documentos seleccionados, el análisis de contenido se organizó en tres áreas temáticas interrelacionadas: (1) Delimitación del esquema de competencias y la brecha curricular, que examinó la distancia entre los planes de estudio vigentes y las exigencias de la fábrica digital; (2) Competencias, empleabilidad y dimensiones humanas, que sistematizó las habilidades técnicas, tecnológicas y blandas identificadas como prioritarias; y (3) Respuestas pedagógicas y estrategias de integración, que interpretó las propuestas de estudios previos para reducir las brechas documentadas.

A partir de ese proceso, la revisión construyó un marco de competencias de referencia fundamentado en evidencia científica. Este constructo opera como base analítica del estudio, dado que define los criterios de comparación necesarios para examinar el estado actual de los currículos y orientar el diseño de futuras estrategias formativas.

IV. RESULTADOS

El resultado del análisis de la formación en competencias para la transición de la I4.0 y la I5.0, se describe en tres ejes: a) esquema de competencias y brecha curricular, b) competencias, empleabilidad y dimensiones humanas y c) respuestas pedagógicas y estrategias de integración.

A. Delimitación del esquema de competencias y brecha curricular

La caracterización de la brecha entre la academia y la fábrica digital permite identificar prioridades de inversión y rediseño. Lemstra y de Mesquita en [15] examinaron la formación en ingeniería industrial a partir de 39 artículos y una encuesta aplicada a 70 investigadores internacionales especializados en manufactura CPS. La distancia entre las exigencias de la fábrica digital y el currículo se manifestó en tres problemas: competencias escasamente jerarquizadas en los planes de estudio, obsolescencia del profesorado frente a los habilitadores tecnológicos de última generación, y asimetrías de infraestructura que impiden trasladar esas dinámicas al aula universitaria. A partir de ello, se recomendó una reingeniería de los planes de estudio basada en aprendizaje basado en proyectos y problemas, junto con la reconfiguración de espacios convencionales en laboratorios orientados a la resolución de fallas reales de producción. Las competencias técnicas con mayor prioridad de integración curricular fueron la analítica de datos avanzada, la interconectividad digital mediante IoT y

CPS, y el pensamiento sistémico aplicado a procesos automatizados. El pensamiento sistémico encabezó las habilidades transversales prioritarias y la analítica de datos lideró las competencias técnicas; el obstáculo más señalado fue la escasez de docentes con experiencia práctica en I4.0. La síntesis de estas prioridades se presenta en la Tabla I.

TABLA I.
MATRIZ DE PRIORIZACIÓN TECNOLÓGICA PARA CURRÍCULOS DE INGENIERÍA

Competencia	Categoría	Urgencia de integración	Obstáculo principal
Analítica de datos avanzada	Técnica	Alta	Infraestructura de laboratorio
Interconectividad IoT y CPS	Técnica	Alta	Obsolescencia docente
Pensamiento sistémico	Transversal	Alta	Ausencia de metodologías activas
Robótica colaborativa	Tecnológica	Media-alta	Costo de equipamiento
Gemelos digitales	Tecnológica	Media	Dominio pedagógico insuficiente
Juicio ético y sostenible	Transversal	Media	Integración curricular implícita

Fuente: elaboración propia a partir de Lemstra y de Mesquita [15] y Azofeifa et al. [16].

Azofeifa et al. en [16] analizaron publicaciones académicas de las diez universidades de ingeniería mejor posicionadas en el ranking QS desde 2020, con el propósito de identificar patrones de integración de competencias futuras en las mallas curriculares durante la era de la hiperautomatización. El análisis mostró que las arquitecturas curriculares estructuradas en silos temáticos con habilidades técnicas de carácter lineal carecen de la flexibilidad requerida para responder a la velocidad de los ciclos de reentrenamiento profesional; Además, se señala que el Foro Económico Mundial proyectó que el 50 % de los trabajadores requerirá formación actualizada antes de 2027.

De otro lado, se encontró que las universidades analizadas en [16] orientan las respuestas hacia mallas curriculares modulares e interdisciplinarias, sostenidas por alianzas internacionales permanentes y dinámicas de ecodiseño curricular con expertos industriales externos. Se observó la integración de las ciencias sociales en la ingeniería como motor de innovación educativa, y la colaboración internacional como el mecanismo principal para actualizar marcos curriculares.

Souza et al. en [17] compararon las competencias que demanda la I4.0 con los contenidos reales de las disciplinas de ingeniería de producción en seis universidades brasileñas. La

comparación permitió reconocer una desconexión entre las necesidades operativas de las organizaciones y la cobertura formativa real de los planes de curso evaluados, que abordan esos contenidos de manera superficial o fragmentada. La brecha se concentró en la baja densidad formativa de cuatro pilares CPS: IoT, procesamiento en la nube, arquitecturas de macrodatos y entornos de experimentación virtual integrados. Aunque la I4.0 tiene alta presencia en el debate académico brasileño, no se identificaron acciones curriculares suficientemente consolidadas para ajustar la formación en ingeniería de producción, lo que aporta evidencia regional directamente comparable con el caso colombiano.

Alnaser et al. en [18] evaluaron la preparación curricular de veinte programas de Arquitectura, Construcción e Ingeniería en Arabia Saudita frente a las demandas de la I4.0, mediante un diseño de casos múltiples con análisis documental y análisis de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DOFA). En los programas examinados, solo seis de las 58 asignaturas abordan temáticas relacionadas con la I4.0, lo que evidencia una cobertura limitada de competencias digitales avanzadas frente a la velocidad de adopción tecnológica del sector productivo. También se encontró que las universidades de menor rango ofrecían más cursos relacionados con la I4.0 que algunas instituciones de mayor prestigio, resultado que sugiere una mayor capacidad de adaptación curricular en determinados establecimientos emergentes.

B. Competencias, empleabilidad y dimensiones humanas

La inserción laboral efectiva depende de la articulación entre las capacidades sociolaborales y el dominio técnico. Widarto et al. en [19] examinaron la percepción de docentes del nivel tecnológico-vocacional en Indonesia sobre las habilidades de empleabilidad demandadas por el sector manufacturero, mediante entrevistas semiestructuradas analizadas con NVivo 12 bajo un enfoque cualitativo inductivo. Las entrevistas mostraron una concentración formativa en destrezas técnicas procedimentales que deja parcialmente desatendidas competencias como la comunicación, el trabajo en equipo, la ética laboral, la iniciativa, la resolución de problemas, la planificación y la gestión de la seguridad ocupacional. Ante esta brecha, fue planteada la necesidad de construir currículos articulados con el sector industrial, acompañados de prácticas intensivas en entornos fabriles y recursos de simulación que reproduzcan las condiciones del trabajo operativo. Por otra parte, la comunicación fue reconocida como el componente central y facilitador de las demás habilidades de empleabilidad, seguido por la planificación y organización de procesos y la gestión de seguridad y salud ocupacional. Estos hallazgos, se integran con la evidencia de Dávila et al. en [20] sobre habilidades blandas, tecnologías de la I4.0, bienestar psicológico y desarrollo profesional, elementos que sustentan la matriz presentada en la Tabla II.

TABLA II.

INTEGRACIÓN CURRICULAR DE COMPETENCIAS SOCIOLABORALES Y TECNOLÓGICAS		
Competencias relacionadas	Evidencia identificada	Implicación curricular
Planificación y organización de procesos–gestión de seguridad y salud ocupacional	Widarto et al. [19] reportaron una correlación de Pearson de 0.852 entre estas competencias.	Ambas competencias deberían desarrollarse articuladamente en talleres y proyectos industriales.
Comunicación–trabajo en equipo	La comunicación fue reconocida por Widarto et al. [19] como el componente central y facilitador de las demás habilidades de empleabilidad.	La comunicación debería incorporarse transversalmente en proyectos colaborativos y actividades de simulación.
Habilidades blandas–desarrollo profesional	El modelo de Dávila et al. [20] mostró una relación positiva entre las habilidades blandas y el desarrollo profesional.	Las habilidades socioemocionales evaluarse junto con los desempeños.
Tecnologías de la Industria 4.0–desarrollo profesional	El uso de tecnologías de la Industria 4.0 formó parte del modelo explicativo del desarrollo profesional propuesto por Dávila et al. [20].	La alfabetización tecnológica debe vincularse con problemas profesionales organizacionales.
Bienestar psicológico–desarrollo profesional	El bienestar psicológico se incorporó como una variable explicativa del desarrollo profesional en el modelo analizado por Dávila et al. [20].	La formación profesional debe incluir la autonomía, las relaciones positivas y el manejo de entornos laborales complejos.

Fuente: elaboración propia a partir de Widarto et al. [19] y Dávila et al. [20].

Dávila et al. en [20] examinaron, mediante modelamiento de ecuaciones estructurales aplicado a 301 egresados de ingeniería en Perú, las relaciones entre las habilidades blandas, el uso de tecnologías de la I4.0, el bienestar psicológico y el desarrollo profesional. Los resultados señalaron la necesidad de fortalecer tanto la preparación tecnológica como las capacidades socioemocionales de los egresados. A partir del modelo, se planteó la conveniencia de integrar ambas dimensiones en experiencias formativas de mayor complejidad, en lugar de abordarlas como componentes separados.

Egcas en [21] exploró mediante encuestas, mesas redondas y grupos focales con gestores educativos y profesores técnicos de Filipinas el enfoque que debe asumir la educación superior. El estudio advirtió que la absorción tecnológica acrítica amplifica la brecha de empleabilidad y aumenta la vulnerabilidad económica de los profesionales técnicos en economías con menor densidad tecnológica. El modelo propuesto, denominado Contextualizada Human Skills Education (CHSE), combina fundamentos computacionales mínimos con formación robusta en juicio moral, flexibilidad cognitiva, creatividad aplicada y resolución analítica de problemas complejos. Los participantes identificaron el pensamiento crítico, la creatividad y la orientación al servicio entre las capacidades más relevantes para afrontar los cambios asociados con la automatización.

Mejía-Manzano et al. en [22] analizaron la diversidad de pensamiento y el aprendizaje permanente como pilares estratégicos para preparar a los estudiantes de la Generación Z ante los cambios laborales propios de la Industria 4.0, empleando una metodología de estudios de futuro con enfoque prospectivo. El análisis prospectivo mostró que los modelos pedagógicos homogéneos e hiperespecializados resultan insuficientes para afrontar ambientes laborales híbridos y de alta carga cognitiva. Los equipos académicos con mayores índices de diversidad de pensamiento mostraron rendimiento superior y mayor adaptabilidad ante escenarios de incertidumbre; la influencia de la autoeficacia, la iniciativa y la motivación sobre la capacidad de autogestión profesional fue estadísticamente significativa. Estos hallazgos sustentan la Fig. 1.

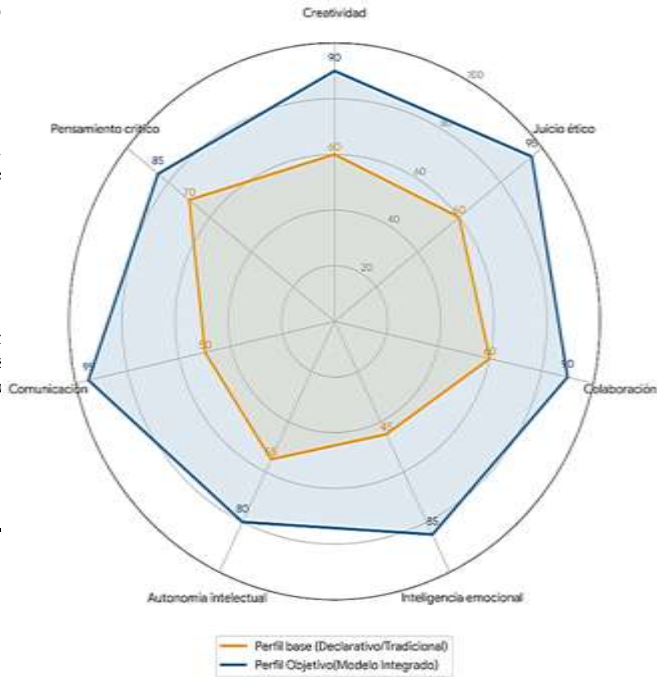


Fig. 1. Radar de Diversidad de Pensamiento (Ejes de competencias transversales) Fuente: elaboración propia a partir de Mejía-Manzano et al. [22], Widarto et al. [19], Dávila et al. [20] y Mazur y Walczyna [23].

Mazur y Walczyna en [23] evaluaron el nivel de competencias de desarrollo sostenible en 308 estudiantes de ingeniería de dos universidades polacas, utilizando un cuestionario de autoevaluación de 25 ítems agrupados en cinco dominios, validado estadísticamente mediante pruebas de Kruskal-Wallis. Los resultados revelaron que los estudiantes exhiben conciencia ambiental y valoración ética elevadas a nivel declarativo, pero encuentran dificultades concretas para traducir esas convicciones en decisiones técnicas de diseño, selección de materiales u optimización de sistemas industriales reales. El estudio confirmó diferencias entre estudiantes en las áreas de conocimiento y acción, pero no en pensamiento sistémico, emociones ni ética, lo que indica que esas competencias requieren intervención pedagógica explícita y no emergen de forma espontánea.

C. Respuestas pedagógicas y estrategias de integración

La validación de modelos pedagógicos activos constituye la base para reducir el bajo rendimiento académico y la brecha con el sector productivo. Yoshino et al. en [24] diseñaron y validaron el Educational Test Bed 4.0, un modelo pedagógico CPS implementado en la Universidad Tecnológica Federal do Paraná, orientado a enseñar las tecnologías de la I4.0 mediante proyectos reales con empresas de los sectores de alimentos, automotriz, bebidas y celulosa. El punto de partida fue la recurrente desconexión entre el aula y el entorno empresarial. Se observó que los estudiantes alcanzan dominio conceptual de teorías abstractas, pero muestran bloqueos procedimentales al diagnosticar y resolver fallas tecnológicas auténticas e impredecibles. El modelo integró automatización industrial, sensoría distribuida, robótica colaborativa y gemelos digitales interconectados con líneas de manufactura física en funcionamiento real. El análisis Fuzzy SAW confirmó que el aprendizaje basado en proyectos obtuvo la puntuación más alta entre las metodologías evaluadas para la formación en I4.0. Los proyectos estudiantiles produjeron ahorros cercanos a un millón de dólares en una empresa socia y originaron registros de propiedad intelectual, demostrando que la alianza universidad-empresa es un mecanismo de transferencia tecnológica con impacto directo en la competitividad del sector productivo.

López Ríos et al. [25] recurrieron a un diseño de tipo pretest y postest para estructurar un sistema estadístico que calcula la incidencia de la realidad virtual inmersiva en las competencias de estudiantes de ingeniería. El análisis advierte sobre una limitación habitual en las aulas, integrar recursos tecnológicos sin herramientas de medición capaces de validar el impacto didáctico. Para este caso de estudio, la tecnología inmersiva sirvió como puente para consolidar el conocimiento aplicado, la abstracción espacial y la capacidad crítica. Los estudiantes que participaron en la experiencia obtuvieron resultados ligeramente superiores a los del modelo tradicional y valoraron favorablemente la utilización.

Álvarez y Hernández en [26] desarrollaron un estudio de caso múltiple de cuatro años con 119 estudiantes de ingeniería en Colombia, examinando cómo la integración de los principios de la Educación 4.0 transforma los resultados de aprendizaje en las dimensiones cognitiva y afectivo-motivacional, mediante métodos mixtos con pruebas de Wilcoxon. El seguimiento permitió advertir una brecha frecuentemente ignorada en los procesos de acreditación universitaria, donde se supone que la dotación tecnológica garantiza por sí sola la calidad del aprendizaje, ocultando la distancia real entre la adopción de herramientas avanzadas y un diseño microcurricular reflexivo centrado en el estudiante. Las intervenciones integraron secuencialmente robótica colaborativa, manufactura aditiva, IA generativa, automatización neumática y líneas de producción modulares utilizadas como recursos progresivos de apoyo al aprendizaje. Los resultados mostraron mejoras estadísticamente significativas cuando las tecnologías fueron integradas mediante una planificación curricular explícita y centrada en el aprendizaje. La integración de estos resultados con los reportados por Yoshino et al. [24] se sintetiza en la Tabla III.

TABLA III.
CICLO DE VALOR EN ESTRATEGIAS PEDAGÓGICAS ACTIVAS
PARA INGENIERÍA

Fase	Descripción	Resultados fundamentales
1. Captura inmersiva	Conexión del estudiante con problemas industriales reales mediante RV, simulación o visita a planta	Activación cognitiva y reducción de bloqueos procedimentales
2. Experimentación flexible	Diseño de soluciones en laboratorio ciberfísico con retroalimentación de ingenieros de planta	Autoeficacia, colaboración interdisciplinar y pensamiento crítico
3. Transferencia real	Entrega de resultados con impacto verificable: ahorro, innovación o propiedad intelectual	Valor económico generado y competencias de empleabilidad consolidadas

Fuente: elaboración propia a partir de Yoshino et al. [24], López Ríos et al. [25] y Álvarez y Hernández [26].

V. DISCUSIÓN

El Análisis de los estudios evidencia que la incorporación de infraestructura tecnológica no garantiza, por sí misma, una mejora en la calidad de la formación en ingeniería. Los resultados de Álvarez y Hernández en [26] muestran que las herramientas avanzadas solo producen transformaciones significativas cuando se articulan con un diseño microcurricular reflexivo, una secuencia pedagógica definida y resultados de aprendizaje evaluables. Esta conclusión coincide con el contraste identificado por Alnaser, Binabid y Sepasgozar en [18] entre instituciones emergentes y universidades de mayor reconocimiento, dado que la trayectoria o el prestigio institucional no aseguran necesariamente una respuesta curricular ágil frente a la velocidad de transformación de la I4.0. Ambos trabajos permiten inferir que la pertinencia formativa depende menos de la acumulación de recursos tecnológicos que de la capacidad institucional para integrarlos pedagógicamente.

A partir de esta convergencia, se propone el Triángulo de la Ingeniería 5.0 como modelo interpretativo compuesto por tres dimensiones interdependientes: tecnología, dimensión humana y sostenibilidad ambiental.

La primera comprende la apropiación crítica de los habilitadores CPS; la segunda integra las capacidades socioemocionales, éticas y adaptativas necesarias para actuar en organizaciones complejas; y la tercera orienta la innovación tecnológica hacia la conservación ambiental, el uso responsable de los recursos y la resiliencia de los sistemas productivos. El modelo no plantea estas dimensiones como componentes separados, sino como criterios que deben converger en los proyectos, los resultados de aprendizaje y los procesos de evaluación curricular Fig. 2.

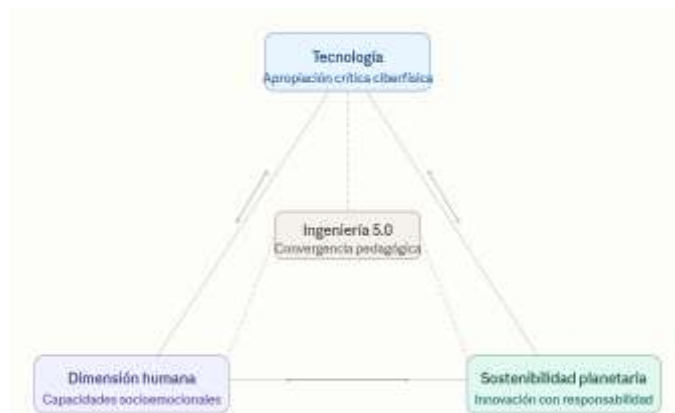


Fig. 2. Triángulo de la Ingeniería 5.0: dimensiones interdependientes del modelo interpretativo.

En el componente tecnológico, los resultados de Lemstra y de Mesquita en [15] y Azofeifa et al. en [16] sitúan la analítica avanzada de datos, la interconectividad digital y el pensamiento sistémico entre las principales prioridades para la formación contemporánea en ingeniería. Sin embargo, la incorporación se encuentra condicionada por la preparación del profesorado, la disponibilidad de infraestructura y la persistencia de estructuras curriculares organizadas en asignaturas aisladas. En consecuencia, la respuesta institucional no debería reducirse a la adquisición de equipos, licencias o plataformas. Los gemelos digitales, la robótica colaborativa, la simulación, la IA y los algoritmos de optimización deben subordinarse a diseños instruccionales con objetivos pedagógicos explícitos, actividades auténticas y mecanismos de evaluación capaces de demostrar los aprendizajes alcanzados [25].

El modelo Educational Test Bed 4.0 desarrollado por Yoshino et al. en [24] ofrece evidencia de esta relación. Cuando los habilitadores tecnológicos fueron integrados en proyectos vinculados con problemas industriales reales, se fortaleció el aprendizaje aplicado y se generaron resultados transferibles al sector productivo. Los ahorros obtenidos por las empresas participantes y los productos de propiedad intelectual derivados de las experiencias permiten interpretar que la relación universidad-empresa puede trascender las prácticas convencionales y convertirse en un espacio de producción conjunta de conocimiento. No obstante, este tipo de experiencia requiere condiciones institucionales, docentes y económicas que deben ser consideradas antes de la adaptación al contexto colombiano.

La dimensión humana adquiere la misma relevancia que el dominio tecnológico. Los estudios revisados muestran que la comunicación, el trabajo colaborativo, la iniciativa, la adaptabilidad y el juicio ético no son complementos periféricos del perfil profesional, sino capacidades que permiten integrar conocimientos especializados en escenarios organizacionales reales. Widarto et al. en [19] evidenciaron la relación entre la planificación y organización de procesos y la gestión de la seguridad ocupacional, además del papel central de la comunicación dentro de las habilidades de empleabilidad, mientras que Dávila et al. [20] mostraron que el bienestar psicológico interviene en la relación entre la capacidad técnica

y el desarrollo profesional. De este modo, un egresado puede dominar una herramienta o procedimiento y, al mismo tiempo, presentar limitaciones para coordinar equipos, comunicar decisiones, afrontar la incertidumbre o valorar las consecuencias de una solución tecnológica.

El modelo CHSE propuesto por Egcas en [21] y los resultados de Mejía-Manzano et al. en [22] convergen en la necesidad de privilegiar capacidades adaptativas de largo plazo. Frente a ciclos tecnológicos cada vez más breves, la vigencia profesional no depende exclusivamente del dominio de una plataforma específica, sino de la capacidad para aprender, desaprender, colaborar y formular respuestas ante problemas nuevos. Esta interpretación implica que las competencias transversales deben ser enseñadas y evaluadas dentro de proyectos disciplinares, en lugar de permanecer restringidas a asignaturas generales sin conexión directa con los procesos de diseño, programación, producción o gestión tecnológica.

La dimensión humana también permite explicar la distancia entre la conciencia ética declarada y la actuación profesional. Mazur y Walczyna [23] encontraron que los estudiantes pueden reconocer la importancia de la sostenibilidad y, aun así, experimentar dificultades para trasladar esa valoración a decisiones concretas sobre materiales, energía, diseño u optimización. Esta brecha entre conocimiento y acción sugiere que la ética y la sostenibilidad no se desarrollan únicamente mediante contenidos expositivos. Se requiere que el estudiante enfrente dilemas, restricciones y consecuencias verificables dentro de actividades de diseño y resolución de problemas.

Desde esta perspectiva, la sostenibilidad ambiental debe integrarse como criterio transversal del currículo y no como una asignatura aislada. Los principios de la I5.0 permiten orientar los CPS hacia objetivos de sostenibilidad mediante gemelos digitales aplicados a la eficiencia energética, algoritmos de economía circular, manufactura aditiva de menor impacto ambiental y procesos de producción resilientes [8]. Los casos analizados por Álvarez y Hernández en [26] muestran que la innovación tecnológica puede articularse con el bienestar del estudiante y con aprendizajes de carácter ético, siempre que estos componentes se incorporen explícitamente en el diseño curricular y sean objeto de evaluación.

La integración presentada en la Tabla II permite reconocer que las competencias técnicas, sociolaborales y personales no operan de manera independiente, en su lugar su integración orienta decisiones curriculares sobre las capacidades que deberían enseñarse y evaluarse de forma articulada en talleres, laboratorios y proyectos. De manera complementaria, el ciclo propuesto en la Tabla III plantea una posible ruta pedagógica al aproximar al estudiante a un problema industrial auténtico, facilitar la experimentación en ambientes controlados y conducir los resultados hacia una transferencia verificable. Esta secuencia articula la activación cognitiva, la experimentación y la generación de valor, evitando que la simulación o la realidad virtual se conviertan en recursos tecnológicos carentes de propósito formativo.

En el contexto colombiano, la articulación de estas tres

dimensiones requiere diagnósticos curriculares que permitan establecer qué competencias están presentes, cuáles se También demanda participación del sector productivo, formación docente continua, flexibilización de las estructuras curriculares y procesos posteriores de validación con expertos académicos y representantes del sector productivo. El principal impacto de la revisión es que la transición hacia la I5.0 no debería entenderse como una ampliación del inventario de tecnologías enseñadas, sino como una revisión de la manera en que se concibe la formación en ingeniería. Bajo este enfoque, la tecnología se convierte en un medio para fortalecer las capacidades humanas, producir soluciones sostenibles y responder con mayor resiliencia a las transformaciones del entorno productivo.

VI. CONCLUSIONES

Los desajustes en la enseñanza contemporánea de la ingeniería no son solo de contenido técnico, sino de estructuración e integración pedagógica. Aunque competencias como la ciencia de datos, los entornos interconectados y la visión sistémica son pilares de la I4.0 [15], [16], el despliegue didáctico se ve obstaculizado por la limitada preparación del profesorado, las asimetrías tecnológicas en infraestructura y la fragmentación curricular [17], [18]. La reducción de estas limitaciones requiere procesos continuos de desarrollo profesoral y alianzas con el sector productivo que faciliten el acceso a problemas, tecnologías y entornos de práctica actualizados.

Los currículos homogéneos y centrados en destrezas aisladas resultan insuficientes para responder a las demandas de los entornos industriales contemporáneos [19]. Widarto et al. en [19] reportaron una correlación entre la planificación y la organización de procesos, así como entre la gestión de la seguridad y salud ocupacional, además de reconocer la comunicación como componente central de las habilidades de empleabilidad. Por otra parte, Dávila et al. en [20] evidenciaron relaciones entre las habilidades blandas, el uso de tecnologías de la I4.0, el bienestar psicológico y el desarrollo profesional, mediante un modelo con índices de ajuste satisfactorios (CFI = 0.960; RMSEA = 0.068). Esta evidencia favorece la integración de las capacidades técnicas, sociolaborales y personales en experiencias de aprendizaje vinculadas con problemas profesionales auténticos.

La transición hacia la I5.0 también exige trasladar la conciencia ambiental y ética desde el plano declarativo hacia decisiones técnicas verificables [23]. El pensamiento sistémico, el juicio ético y la capacidad para evaluar las consecuencias sociales y ambientales de la tecnología requieren intervenciones pedagógicas explícitas. En este sentido, el Ciclo de Valor sintetizado en la Tabla III ofrece una ruta para articular la aproximación a problemas industriales, la experimentación en entornos controlados y la transferencia de resultados hacia contextos reales [24], [26].

Como aporte interpretativo de la revisión, el Triángulo de la Ingeniería 5.0 integra la tecnología, la dimensión humana y la sostenibilidad ambiental dentro de un mismo marco

pedagógico. La aplicación en el contexto colombiano requeriría diagnósticos curriculares, formación docente, participación del sector productivo y procesos posteriores de validación con expertos académicos e industriales. Por tanto, la pertinencia de las futuras estrategias formativas dependerá de la capacidad para integrar estas tres dimensiones en los resultados de aprendizaje, las metodologías pedagógicas y los sistemas de evaluación de los programas de ingeniería.

Esta revisión presenta limitaciones propias de la naturaleza documental. Por un lado, desde el corpus analizado dependió estrictamente de las bases consultadas, la estrategia metodológica y los criterios de elegibilidad definidos, dejando fuera desarrollos publicados en otras fuentes o idiomas. En consecuencia, la síntesis obtenida no pretende representar de manera exhaustiva toda la producción científica sobre la formación para la I4.0 y I5.0, sino ofrecer una interpretación rigurosa ajustada al alcance del estudio. Por ello, como trabajo futuro, se propone aplicar el marco de competencias derivado de esta revisión al análisis de programas de ingeniería colombianos, mediante un diagnóstico que permita identificar la presencia de competencias técnicas, tecnológicas y transversales en sus currículos. Este proceso facilitará la validación empírica de los modelos conceptuales propuestos (el Triángulo de la Ingeniería 5.0 y el Ciclo de Valor) a través de estudios de caso. Con base en estos resultados, se podrán construir de forma participativa instrumentos de diagnóstico y estrategias de formación orientadas a la transición hacia la I5.0, sometiéndolas a la validación directa de expertos académicos y representantes del sector productivo.

REFERENCIAS

- [1] G. U. Ikenga and P. van der Sijde, "Twenty-First Century Competencies; about Competencies for Industry 5.0 and the Opportunities for Emerging Economies," *Sustainability*, vol. 16, no. 16, Art. no. 7166, 2024, doi: 10.3390/su16167166.
- [2] M. Poláková, J. H. Suleimanová, P. Madzík, L. Copuš, I. Molnárová, and J. Polednová, "Soft skills and their importance in the labour market under the conditions of Industry 5.0," *Heliyon*, vol. 9, Art. no. e18670, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18670>.
- [3] Congreso de la República de Colombia, Ley 2294 de 2023, "Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 'Colombia Potencia Mundial de la Vida'," Bogotá, Colombia, mayo 19, 2023.
- [4] J. A. Giraldo-Marín, G. Pérez-Botero, and A. M. Vargas-Ospina, "Competencias digitales en la formación de ingenieros en Colombia: Un análisis desde los currículos y las necesidades de la Industria 4.0," *Revista Tecnura*, vol. 27, no. 78, pp. 101–116, 2023, doi: 10.14483/22487638.19948.
- [5] G. Li, C. Yuan, S. Kamarthi, M. Moghaddam, and X. Jin, "Data science skills and domain knowledge requirements in the manufacturing industry: A gap analysis," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 60, pp. 692–706, 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.07.007.
- [6] A. Jaime, M. A. Osorio-Sanabria, and B. M. Valdes-Meza, "Preparación de la fuerza laboral para la Industria 4.0," *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, no. E76, pp. 286–303, 2024.
- [7] A. Jaime, M. A. Osorio-Sanabria, and D. Y. Bernal Torres, "Similarities and differences between Industry 4.0 and Industry 5.0: Towards a transitioning model," *Journal of Innovation & Knowledge*, Art. no. 100921, 2026, doi: 10.1016/j.jik.2025.100921.
- [8] European Commission, *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021.

- [9] A. F. Velásquez Hernández and H. M. Echeverri Flórez, "Hacia la formación de ingenieros para la Industria 5.0: desafíos y oportunidades," in *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, 2023, doi: 10.26507/paper.2785.
- [10] A. Osman and J. Speer, "Are soft skills enough? Experimental evidence on skill complementarity for college graduates," *ILR Review*, 2025, doi: 10.1177/00197939251316849.
- [11] C. Pacher, M. Woschank, and B. M. Zunk, "The Role of Competence Profiles in Industry 5.0-Related Vocational Education and Training: Exemplary Development of a Competence Profile for Industrial Logistics Engineering Education," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 5, Art. no. 3280, 2023, doi: 10.3390/app13053280.
- [12] I. Lopes Martínez, A. Cuesta Santos, J. Vilalta Alonso, M. S. Fleitas Triana, T. Delgado Fernández, G. Neumann, and A. Cruz Ruiz, "Creando capacidades: hacia la Industria 5.0 en la formación de ingenieros industriales," *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, vol. 6, no. 2, Art. no. e230, 2022, doi: 10.5281/zenodo.6817718.
- [13] M. J. Page et al., "PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, Art. no. n160, 2021, doi: 10.1136/bmj.n160.
- [14] I. C. Pelaez-Sanchez, L. D. Glasserman-Morales, and G. Rocha-Feregrino, "Exploring digital competencies in higher education: Design and validation of instruments for the era of Industry 5.0," *Frontiers in Education*, vol. 9, Art. no. 1415800, 2024, doi: 10.3389/educ.2024.1415800.
- [15] M. A. M. S. Lemstra and M. A. de Mesquita, "Industry 4.0 and industrial engineering education: Perspectives from researchers," *International Journal of Engineering Education*, vol. 41, no. 3, pp. 797–807, 2025.
- [16] J. D. Azofeifa, V. Rueda-Castro, and P. Caratozzolo, "Analyzing the integration of future skills in top universities for engineering education in the age of Industry 4.0," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 132942–132951, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3590290.
- [17] R. G. Souza, O. Quelhas, G. Marchisotti, J. Neto, R. Anholon, and C. A. Marinho, "Production engineering curriculum in Industry 4.0 in a Brazilian context," *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 31, no. 4, pp. 136–150, 2020, doi: 10.7166/31-4-2033.
- [18] A. A. Alnaser, J. Binabid, and S. M. E. Sepasgozar, "Transforming architectural programs to meet Industry 4.0 demands: SWOT analysis and insights for achieving Saudi Arabia's strategic vision," *Buildings*, vol. 14, no. 12, Art. no. 4005, 2024, doi: 10.3390/buildings14124005.
- [19] W. Widarto, M. Nurtanto, A. B. Johan, A. Primartadi, and F. D. Isnantyo, "Lecturer perceptions of employability skills: Case study in Vocational Education Diploma (VED)," *Journal of Engineering Education Transformations*, vol. 36, no. 4, pp. 23–31, 2023, doi: 10.16920/jeet/2023/v36i4/23112.
- [20] R. F. Dávila Laguna, D. Lizarzaburu Aguinaga, D. E. Cáceres Torres, and B. A. Larroche Cueto, "Soft skills and the use of Industry 4.0 as determinants of professional development in engineering graduates: A SEM approach," *Sustainable Futures*, vol. 10, Art. no. 100742, 2025, doi: 10.1016/j.sfr.2025.100742.
- [21] R. A. Egcas, "Contextualizing human skills education for legacy countries: The educators' perspective," *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, vol. 9, no. 4, pp. 60–75, 2019.
- [22] L. A. Mejía-Manzano, G. Sirkis, J.-C. Rojas, K. Gallardo Córdova, P. Vázquez-Villegas, C. Camacho-Zúñiga, J. Membrillo-Hernández, and P. Caratozzolo, "Embracing thinking diversity in higher education to achieve a lifelong learning culture," *Education Sciences*, vol. 12, no. 12, Art. no. 913, 2022, doi: 10.3390/educsci12120913.
- [23] B. Mazur and A. Walczyna, "Sustainable development competences of engineering students in light of the Industry 5.0 concept," *Sustainability*, vol. 14, no. 12, Art. no. 7233, 2022, doi: 10.3390/su14127233.
- [24] R. T. Yoshino, M. M. A. Pinto, J. Pontes, F. T. Treinta, J. F. Justo, and M. M. D. Santos, "Educational Test Bed 4.0: A teaching tool for Industry 4.0," *European Journal of Engineering Education*, vol. 45, no. 6, pp. 1002–1023, 2020, doi: 10.1080/03043797.2020.1832966.
- [25] O. López Ríos, L. J. Lechuga López, and G. Lechuga López, "A comprehensive statistical assessment framework to measure the impact of immersive environments on skills of higher education students: A case study," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 14, pp. 1395–1410, 2020, doi: 10.1007/s12008-020-00698-1.
- [26] J. Álvarez Ariza and C. Hernández Hernández, "Investigating the impact of Education 4.0 and digital learning on students' learning outcomes in engineering: A four-year multiple-case study," *Informatics*, vol. 13, no. 2, Art. no. 18, 2026, doi: 10.3390/informatics13020018.

Miguel Antonio Ojeda Enriquez holds a Master's degree in Software Engineering and is affiliated with the Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín, Colombia, where he is a member of the Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales Research Group. His areas of expertise include Computer Science and Information, Software Engineering, and Information Technology. His academic interests focus on software engineering and computational sciences. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8050-2339>

Mariutsi Alexandra Osorio Sanabria holds a Ph.D. in Engineering, a master's degree in information and communication technologies, and a Bachelor's degree in Systems Engineering. She is affiliated with the Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín, Colombia, where she is a member of the Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales (AEyCC) Research Group. Her areas of expertise include Computer Science, Systems Engineering, Information and Communication Technologies, and Computer Science and Information. Her academic interests focus on computational sciences and information technologies. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7375-3052>