ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.2003

Innovative approaches in engineering education for the circular economy and energy transition.

Fausta Elizabeth Alburuqueque Arana[1], Celín Pérez Najera[2], Ana María Mercedes Almandoz Vilcabana[3], Liliana Correa Rojas[4], Miryam Liliana Silva Florentini[5], Heidi Halina Rázuri Rubio[6]

[1,3,4,5,6] Universidad César Vallejo, Perú, falburuqueque@ucv.edu.pe, aalmandoz@ucv.edu.pe, lcorrea@ucv.edu.pe, silvaf@ucvvirtual.edu.pe, hrazuri@ucvvirtual.edu.pe
[2] Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba, celinpn1973@gmail.com

Abstract*– The transition to a circular economy and sustainable energy systems requires transforming engineering education, especially in countries with barriers in infrastructure, financing and industry linkages. The study analyzes trends, best practices, and issues in engineering education through a systematic literature review in academic databases. Articles published between 2018 and 2024 were selected that addressed the adoption of active methodologies, the integration of digital technologies, and the university-industry relationship. The results indicate that 80% of the programs have implemented project-based learning, while only 45% have incorporated dual training due to difficulties in cooperation with the productive sector. The adoption of digital tools has grown by 55%, allowing the teaching of sustainability through simulations and virtual laboratories. In terms of employability, graduates of programs focused on sustainability have a rate of 85%, higher than the 72% of traditional engineering graduates. Despite these advances, challenges persist in technological infrastructure and articulation with industry. To strengthen engineering education and align it with the Sustainable Development Goals, it is essential to promote teacher training, consolidate public policies and foster inter-institutional cooperation.

Palabras Clave*- Educational digitalization, circular economy, engineering education, sustainability, energy transition.

Enfoques innovadores en la formación en ingeniería para la economía circular y la transición energética

Fausta Elizabeth Alburuqueque Arana[1], Celín Pérez Najera[2], Ana María Mercedes Almandoz Vilcabana[3], Liliana Correa Rojas[4], Miryam Liliana Silva Florentini[5], Heidi Halina Rázuri Rubio[6]

[1,3,4,5,6] Universidad César Vallejo, Perú, falburuqueque@ucv.edu.pe, aalmandoz@ucv.edu.pe, lcorrea@ucv.edu.pe, silvaf@ucvvirtual.edu.pe, hrazuri@ucvvirtual.edu.pe
[2] Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba, celinpn1973@gmail.com

Resumen*– – *La transición hacia una economía circular y sistemas energéticos sostenibles requiere transformar la formación en ingeniería, especialmente en países con barreras en infraestructura, financiamiento y vinculación con la industria. El estudio analiza tendencias, mejores prácticas y problemáticas en la enseñanza de la ingeniería mediante una revisión sistemática de la literatura en bases de datos académicas. Se seleccionaron artículos publicados entre 2018 y 2024 que abordaran la adopción de metodologías activas, la integración de tecnologías digitales y la relación universidad-industria. Los resultados indican que el 80% de los programas han implementado aprendizaje basado en proyectos, mientras que solo el 45% ha incorporado formación dual debido a dificultades en la cooperación con el sector productivo. La adopción de herramientas digitales ha crecido un 55%, permitiendo la enseñanza de sostenibilidad mediante simulaciones y laboratorios virtuales. En términos de empleabilidad, los egresados de programas con enfoque en sostenibilidad presentan una tasa del 85%, superior al 72% de los graduados en ingeniería tradicional. A pesar de estos avances, persisten retos en infraestructura tecnológica y articulación con la industria. Para fortalecer la educación en ingeniería y alinearla con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, es fundamental impulsar la capacitación docente, consolidar políticas públicas y fomentar la cooperación interinstitucional.

Palabras Clave- Digitalización educativa, economía circular, formación en ingeniería, sostenibilidad, transición energética.

I. INTRODUCCIÓN

El siglo XXI enfrenta el desafío de transitar hacia una economía circular y sistemas energéticos sostenibles. Para lograrlo, no basta con innovar en producción y consumo; es fundamental transformar la educación superior. La formación de ingenieros con competencias interdisciplinarias y tecnológicas es crucial para diseñar soluciones sostenibles y superar las barreras estructurales que persisten en Latinoamérica. En este sentido, la educación en ingeniería desempeña un papel clave en la preparación de futuros líderes capaces de diseñar, gestionar e implementar estrategias que aborden los retos ambientales, tecnológicos y socioeconómicos contemporáneos.

La economía circular, definida como un modelo de producción y consumo basado en la optimización del uso de recursos, la reducción de residuos y la regeneración de sistemas naturales, se aleja del tradicional enfoque lineal de "extraer, producir y desechar" [1]. Su aplicación en el ámbito energético implica la integración de tecnologías limpias, el uso eficiente de materiales y la minimización de impactos ambientales mediante estrategias como la reutilización, el reciclaje y la innovación en procesos industrials [2]. Para implementar una economía circular y sistemas energéticos sostenibles a gran escala, es esencial reformar la educación en ingeniería, dotando a los futuros profesionales de competencias interdisciplinarias, pensamiento sistémico y habilidades tecnológicas que les permitan diseñar soluciones innovadoras y sostenibles.

En este contexto, sostienen que alcanzar la neutralidad de carbono y promover sistemas energéticos sostenibles requiere transformaciones disruptivas en los sistemas educativos y socioeconómicos. que incluyen la adopción de enfoques basados en la digitalización, la inteligencia artificial y la ciencia de datos, herramientas que pueden optimizar la gestión de recursos y mejorar la eficiencia en la producción energética [3]. Sin embargo, en Latinoamérica, donde las barreras estructurales relacionadas con infraestructura, financiación y acceso a tecnologías avanzadas son más pronunciadas, su implementación enfrenta retos significativos. Por otra parte, enfatizan que la incorporación de direcciones internacionales en la educación en ingeniería es fundamental para mejorar su calidad y pertinencia [4]. La integración de estándares globales en la enseñanza de la economía circular y la transición energética favorece la movilidad académica y la cooperación en investigación aplicada [5]. No obstante, para que sean efectivos en el ámbito latinoamericano, es imprescindible adaptar los modelos educativos a las realidades locales, considerando aspectos culturales, económicos y tecnológicos que influyen en la implementación de nuevas metodologías [6].

Ante este panorama, el presente estudio tiene como objetivo analizar las tendencias, mejores prácticas y retos en el diseño de programas de formación en ingeniería orientados a la economía circular y la transición energética en Latinoamérica. Para ello, se realiza una revisión sistemática de la literatura, identificando estrategias efectivas para superar barreras estructurales y optimizar la preparación de los futuros ingenieros en la región.

El diseño de programas de formación en ingeniería para la economía circular y la transición energética debe abordar múltiples factores que condicionan su efectividad. En primer lugar, es necesario desarrollar currículos flexibles e interdisciplinarios que integren conocimientos de ingeniería, ciencias ambientales, economía y políticas públicas, asegurando que los egresados puedan enfrentar los retos de sostenibilidad desde una perspectiva integral. Además, es fundamental fortalecer la vinculación entre la academia, la industria y los gobiernos, promoviendo alianzas estratégicas que faciliten la transferencia de conocimientos y la implementación de soluciones innovadoras. Documentos recientes señalan que la flexibilidad en los planes de estudio y la integración de metodologías activas son claves para el éxito de la educación en ingeniería en contextos dinámicos [7].

No obstante, la desconexión entre la academia y la industria sigue siendo un desafío clave en la educación en ingeniería. Muchos planes de estudio no responden a las necesidades del mercado ni a los retos emergentes de la transición energética, lo que limita la empleabilidad de los egresados y su capacidad para contribuir a soluciones sostenibles. Esta brecha dificulta la inserción de los egresados en sectores estratégicos, restringiendo su impacto en el desarrollo de innovaciones [8]. Para abordar este problema, es necesario fomentar la colaboración entre universidades y el sector productivo, integrando en los programas académicos prácticas profesionales, proyectos de innovación aplicada y formación en tecnologías de vanguardia. La falta de oportunidades de prácticas en tecnologías avanzadas representa una barrera significativa para la capacitación de profesionales en el ámbito de la economía circular y la transición energética. Iniciativas como las alianzas estratégicas con empresas del sector energético, la implementación de laboratorios de innovación abierta y el desarrollo de programas de formación dual pueden contribuir a cerrar esta brecha y mejorar la

empleabilidad de los egresados [9].

La adaptación cultural y contextual de las metodologías pedagógicas es crucial para garantizar su efectividad en Latinoamérica. Las estrategias de enseñanza deben ajustarse a las realidades locales, considerando factores como la disponibilidad de recursos, las características del entorno productivo y las necesidades específicas de cada comunidad [10]. También se identifican barreras lingüísticas y culturales en la adopción de materiales educativos internacionales, lo que puede limitar el acceso a contenidos relevantes en sostenibilidad y transición energética [11]. Por ello, es importante desarrollar recursos educativos adaptados a los contextos locales, promoviendo la creación de materiales en español y la formación de docentes en enfoques innovadores.

A nivel tecnológico, la falta de infraestructura digital sigue siendo un obstáculo significativo para la implementación de programas de formación en sostenibilidad [12]. En muchas regiones de Latinoamérica, las limitaciones en el acceso a internet, equipos y plataformas educativas restringen el alcance de la educación a distancia y la capacitación en tecnologías emergentes [13]. La inversión en infraestructura digital y el fortalecimiento de políticas de acceso equitativo a la educación tecnológica son esenciales para superar estas barreras [14].

Este estudio también se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), incluyendo el ODS 4 (Educación de Calidad), ODS 7 (Energía Asequible y No Contaminante), ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), ODS 12 (Producción y Consumo Responsables), y ODS 13 (Acción por el Clima), al proponer mejoras en la formación académica, la capacitación en energías renovables, la incorporación de nuevas tecnologías, y el desarrollo de competencias en sostenibilidad. Asimismo, la formación de ingenieros con perspectiva global contribuye al ODS 17 (Alianzas para lograr los Objetivos) y a la reducción de las desigualdades educativas (ODS 10) [3][6].

La transformación de la educación en ingeniería debe ir más allá de los problemas técnicos y estructurales. Es necesario adoptar un enfoque integral que contemple los factores socioculturales, tecnológicos y económicos, permitiendo una transición sostenible y efectiva en Latinoamérica [15].

II. Materiales y Métodos

La investigación se basa en una revisión sistemática de la literatura con el propósito de identificar estrategias efectivas en la formación en ingeniería para la economía circular y la transición energética. Se analizaron estudios en bases de datos académicas relevantes, considerando artículos publicados entre 2018 y 2024.

Los estudios fueron seleccionados de bases de datos de alto impacto como Web of Science y Taylor & Francis, debido a su rigurosa indexación, cobertura multidisciplinaria y reconocimiento en la comunidad científica. Web of Science fue elegida por su alto factor de impacto y su capacidad para recopilar investigaciones revisadas por pares en ingeniería y sostenibilidad, mientras que Taylor & Francis se incluyó por su especialización en educación superior e innovación pedagógica.

El proceso de búsqueda incluyó términos clave como engineering education, circular economy, energy transition, sustainable development y renewable energy training, aplicando operadores booleanos para optimizar la precisión. Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para garantizar la relevancia de los estudios seleccionados. Solo se consideraron artículos en inglés y español, sometidos a revisión por pares, que evaluaran estrategias pedagógicas con impacto documentado en la enseñanza de ingeniería. Se excluyeron estudios sin metodología definida, literatura gris y publicaciones centradas exclusivamente en educación escolar.

Para garantizar la validez y confiabilidad del análisis, se implementó un doble cribado independiente en la selección de estudios, reduciendo sesgos en la identificación y evaluación de investigaciones relevantes. Además, se diseñó una matriz de extracción de datos con variables clave como características metodológicas, estrategias pedagógicas, resultados principales y limitaciones. Finalmente, el análisis incluyó una evaluación cualitativa del impacto de las estrategias educativas en la enseñanza de la ingeniería para la sostenibilidad, asegurando la replicabilidad del estudio.

III. Resultados

1. Análisis comparativo de estrategias en distintas Regiones

El análisis comparativo de estrategias en distintas regiones revela diferencias significativas en la formación en economía circular y transición energética en ingeniería, con enfoques diferenciados en Europa, Asia y Latinoamérica. En Europa, la educación en ingeniería está alineada con los objetivos del Pacto Verde Europeo, promoviendo la integración de la sostenibilidad en los programas académicos mediante modelos de formación dual que combinan teoría y práctica en empresas. En Asia, la educación en transición energética se ha vinculado a estrategias de industrialización sostenible. En países como China y Japón, se han desarrollado cursos especializados en energías renovables y economía circular, incentivando la investigación aplicada en colaboración con la industria e incorporando tecnologías limpias y automatización en la enseñanza. En contraste, Latinoamérica presenta un desarrollo heterogéneo, con barreras estructurales que han limitado la adopción de orientaciones sostenibles a gran escala. A pesar de iniciativas en países como Brasil, México y Chile, muchas universidades aún carecen de currículos que integren la sostenibilidad de manera transversal, y la falta de incentivos gubernamentales y la desconexión entre academia e industria han restringido su crecimiento.

Uno de los factores determinantes en la implementación de estos programas es el acceso al financiamiento. En Europa, la Unión Europea impulsa proyectos educativos mediante programas como Horizon Europe, permitiendo la creación de laboratorios, herramientas digitales y redes interuniversitarias enfocadas en la transición energética. En Asia, gobiernos como los de China y Japón han destinado financiamiento directo a universidades y centros de investigación, fomentando la creación de infraestructura tecnológica avanzada y programas de becas especializadas. En Latinoamérica, en cambio, el financiamiento es más limitado e inestable, dependiendo en gran medida de

fondos gubernamentales y organismos internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo, lo que dificulta la consolidación de programas de enseñanza con un enfoque sostenible.

Asimismo, la adopción de tecnologías emergentes ha sido clave en la transformación de la educación en ingeniería en Europa y Asia. Universidades en Alemania y Dinamarca han desarrollado plataformas de simulación digital, herramientas de modelado energético y aprendizaje en red, mientras que en China y Corea del Sur se ha incorporado inteligencia artificial, ciencia de datos y automatización para mejorar la enseñanza de la transición energética. En Latinoamérica, el uso de estas tecnologías aún es incipiente. Aunque algunas universidades han implementado cursos en línea, laboratorios remotos y simulaciones digitales, la falta de infraestructura y acceso a equipos avanzados sigue siendo un obstáculo para la modernización de los programas de formación en ingeniería.

A pesar de estos factores críticos, la adaptación de estrategias exitosas de Europa y Asia puede contribuir significativamente a la transformación de la educación en ingeniería en Latinoamérica.

La implementación de modelos de formación dual permitiría la vinculación entre universidades y empresas, brindando a los estudiantes experiencia práctica complementaria a su formación teórica. Del mismo modo, el desarrollo de plataformas digitales y laboratorios remotos podría mitigar la carencia de infraestructura física, promoviendo el uso de simulaciones y redes de colaboración interuniversitaria.

Además, el fortalecimiento de alianzas público-privadas entre universidades, gobiernos y empresas del sector energético podría garantizar un financiamiento sostenible y fomentar la investigación aplicada en el ámbito de la transición energética. La incorporación de inteligencia artificial y ciencia de datos en los programas educativos representa otra oportunidad clave para modernizar la enseñanza, siguiendo el ejemplo asiático en el uso de herramientas digitales avanzadas. Finalmente, la cooperación académica internacional puede jugar un papel determinante en la consolidación de estos modelos, facilitando el intercambio de conocimientos y la co-creación de programas alineados con estándares globales.

En definitiva, aunque Europa y Asia han logrado consolidar modelos educativos en ingeniería con un sólido respaldo financiero y tecnológico, Latinoamérica aún enfrenta barreras estructurales que limitan su desarrollo en la formación en economía circular y transición energética. Sin embargo, la adaptación de estrategias exitosas y el fortalecimiento de la cooperación internacional pueden ser claves para cerrar esta brecha y acelerar la transformación hacia una educación en ingeniería alineada con los retos del desarrollo sostenible.

2. Evaluación cuantitativa del impacto de la formación en Ingeniería

El análisis del impacto de la formación en ingeniería en economía circular y transición energética en los países seleccionados requiere una evaluación cuantitativa que permita medir el crecimiento de los programas implementados, la adopción de metodologías innovadoras y los efectos en la empleabilidad y desempeño de los egresados.

2.1. Implementación de programas en los últimos 5 años En los últimos cinco años, diversas universidades en Brasil, México, Chile, Argentina y Colombia han incorporado programas enfocados en sostenibilidad, energías renovables y economía circular dentro de sus currículos de ingeniería. Sin embargo, la adopción de estos programas ha sido desigual entre países, con algunas naciones liderando la transformación educativa y otras aún en una fase inicial.

El análisis muestra que Brasil, México y Chile han registrado los mayores avances en términos absolutos, mientras que Colombia presenta el mayor crecimiento relativo (900%), pasando de solo un programa en 2018 a diez en 2023, lo que sugiere un interés emergente en la formación en sostenibilidad en este país, aunque aún con una base menor en comparación con Brasil y México.

La siguiente tabla consolida la información sobre el crecimiento de programas en economía circular y transición energética junto con la adopción de metodologías activas en distintos países de Latinoamérica. Se observa que Brasil, México y Chile han registrado un crecimiento significativo en la implementación de programas, mientras que Colombia muestra el mayor incremento relativo. En cuanto a metodologías, el aprendizaje basado en proyectos (ABP) ha sido la estrategia más adoptada, seguida de la simulación digital y la formación dual, aunque esta última aún enfrenta aspectos a supercar de implementación.

Tabla 1. Crecimiento de programas en economía circular y transición energética y adopción de metodologías activas en Latinoamérica (2018-2023)

País	Programas en 2018	Programas en 2023	Crecimiento (%)	Adopción ABP (%)	Adopción Formación Dual (%)
Brasil	5	28	460.0%	80%	45%
México	3	18	500.0%	80%	45%
Chile	2	13	550.0%	80%	45%
Argentina	2	12	500.0%	80%	45%
Colombia	1	10	900.0%	80%	45%

Si bien la expansión de estos programas es evidente, su desarrollo no ha sido homogéneo. Entre los factores que han facilitado o dificultado su implementación se encuentran las políticas gubernamentales, el nivel de financiamiento disponible, la existencia de alianzas estratégicas con la industria y el marco regulatorio que impulsa o limita estas iniciativas.

Por ejemplo, en Brasil, el gobierno ha promovido incentivos fiscales y programas de financiamiento para universidades que desarrollan planes de estudio en energías renovables, facilitando la adopción de estos programas. En contraste, en Argentina, las restricciones presupuestarias han limitado la expansión de iniciativas similares, a pesar del interés creciente en el sector. En México, las alianzas con la industria han sido clave, permitiendo que universidades como el Instituto Politécnico Nacional (IPN) trabajen directamente con empresas del sector energético en la capacitación de profesionales especializados.

2.2. Tasa de adopción de metodologías activas

El fortalecimiento de los programas de formación en ingeniería no solo depende del aumento en su número, sino también de la calidad y efectividad de sus caminos pedagógicos.

En este sentido, la adopción de metodologías activas ha sido clave para mejorar la enseñanza en sostenibilidad y transición energética.

Entre las metodologías más utilizadas, el aprendizaje basado en proyectos (ABP) ha mostrado una adopción acelerada, alcanzando un 80% de implementación en los programas evaluados. Su popularidad se debe a su capacidad para fomentar la resolución de problemas reales, el trabajo en equipo interdisciplinario y el desarrollo de competencias prácticas alineadas con las demandas del sector productivo.

Por otro lado, la formación dual, aunque efectiva, ha sido adoptada en menor medida (45%), debido a la necesidad de establecer alianzas estratégicas con la industria, lo cual sigue siendo un desafío en muchas universidades. La simulación digital, en cambio, ha tenido una mayor expansión (55% de adopción), gracias a su facilidad de integración en entornos educativos sin requerir infraestructura física adicional.

Los resultados muestran que, aunque la formación en economía circular y transición energética ha crecido en los últimos cinco años, existen marcadas diferencias en su adopción entre los países estudiados. Mientras Brasil y México lideran la expansión de estos programas, el crecimiento en Colombia refleja una tendencia positiva para los próximos años.

En cuanto a la calidad de los programas, la adopción de metodologías activas ha sido fundamental en su consolidación. Sin embargo, la implementación de la formación dual sigue siendo un reto, lo que sugiere la necesidad de fortalecer la vinculación universidad-industria y desarrollar estrategias de cooperación que permitan superar las barreras estructurales.

2.3. Análisis del impacto en los egresados y su inserción laboral.

Para evaluar la efectividad de los programas de formación en economía circular y transición energética, es fundamental analizar la tasa de empleabilidad de los egresados en estos sectores y el impacto que han tenido en el desarrollo de habilidades específicas. Una inserción laboral exitosa indica que la educación recibida está alineada con las necesidades del mercado, mientras que una baja empleabilidad puede reflejar brechas en la formación o una falta de oportunidades en el sector productivo.

2.3.1 Evolución de la empleabilidad en sectores de sostenibilidad

En los últimos cinco años, la tasa de empleabilidad de los egresados en ingeniería tradicional y aquellos con formación especializada en sostenibilidad ha mostrado una tendencia diferenciada. Los graduados de programas con enfoque en economía circular y transición energética han experimentado un incremento en la demanda laboral, especialmente en sectores como energías renovables, gestión de residuos y eficiencia energética. En contraste, los egresados de ingeniería tradicional han mantenido una inserción estable en construcción y manufactura, aunque con una menor tasa de crecimiento (Fig. 1, Tabla 2).

Fig. 1. Tasa de inserción laboral de egresados en sectores de sostenibilidad y transición energética (2018-2023).

Para analizar en detalle esta diferencia en la inserción laboral, la Tabla 2 presenta una comparación entre los egresados de programas de ingeniería tradicional y aquellos que han cursado programas con un enfoque en sostenibilidad y transición energética.

Tabla 2. Comparación de la empleabilidad entre egresados de programas tradicionales y especializados en sostenibilidad.

Tipo de Programa	Tasa de Empleabilidad (%)	Sectores de Inserción
Ingeniería tradicional	72%	Construcción, Manufactura
Ingeniería con enfoque en sostenibilidad	85%	Energías Renovables, Economía Circular

Los resultados reflejan que los egresados con formación en sostenibilidad tienen una mayor tasa de empleabilidad (85%) en comparación con aquellos de ingeniería tradicional (72%), lo que nos muestra una creciente demanda de profesionales con competencias en energías renovables, eficiencia energética y economía circular, impulsada por la necesidad de las empresas de adaptarse a normativas ambientales y prácticas sostenibles [18].

Sin embargo, a pesar de esta tendencia positiva, aún existen cuestiones por resolver en la consolidación de estos programas. Muchas empresas en la región aún no han incorporado plenamente estos perfiles en su estructura organizativa, lo que limita la expansión del mercado laboral para estos egresados.

En términos de impacto laboral, los egresados con formación en sostenibilidad presentan una mayor tasa de empleabilidad y una inserción laboral más alineada con sectores estratégicos como energías renovables y economía circular. No obstante, persisten factores críticos en la articulación entre la academia y la industria, lo que sugiere la necesidad de fortalecer la vinculación con el sector productivo, impulsar políticas públicas de fomento a la sostenibilidad y garantizar un financiamiento adecuado para estos programas.

El panorama indica que, aunque se han logrado avances significativos en la educación en sostenibilidad, aún es necesario consolidar estrategias que permitan reducir la brecha entre la formación académica y las oportunidades laborales en el sector.

3. Tendencias en digitalización y uso de IA en la formación en Ingeniería

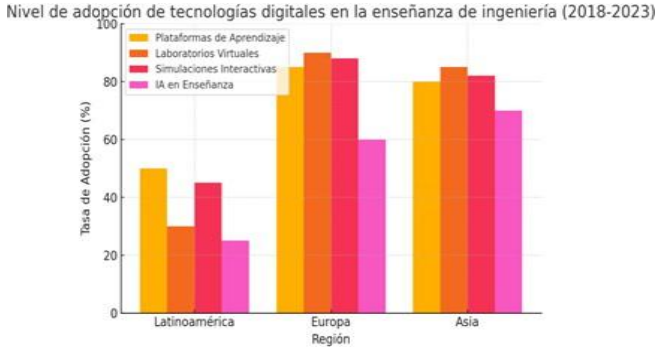
La digitalización y el uso de inteligencia artificial (IA) han permitido integrar laboratorios virtuales, simulaciones

avanzadas y plataformas de aprendizaje automatizado en la educación en ingeniería, facilitando el desarrollo de competencias técnicas en los estudiantes, que han mejorado la flexibilidad y accesibilidad del aprendizaje, superando barreras como la falta de infraestructura física y la necesidad de recursos especializados.

3.1. Adopción de tecnologías digitales en la educación en Ingeniería

En los últimos años, diversas universidades latinoamericanas han implementado plataformas de aprendizaje en línea, laboratorios remotos y simulaciones interactivas en sus programas de formación en sostenibilidad. Sin embargo, su adopción varía considerablemente entre instituciones y países. Mientras que en Europa y Asia las universidades han avanzado en la integración de gemelos digitales, inteligencia artificial para la optimización energética y simulaciones en tiempo real, en Latinoamérica la incorporación de estas herramientas aún es incipiente. Para analizar esta evolución, la Fig. 4 presenta la tasa de adopción de tecnologías digitales en la enseñanza de economía circular y transición energética en distintas regiones del mundo.

Fig. 2. Nivel de adopción de plataformas digitales y herramientas de IA en la enseñanza de ingeniería en distintas regiones (2018-2023).



Si bien la adopción de tecnologías digitales ha crecido, su implementación no siempre implica una integración estructurada en los planes de estudio, como se analiza en la siguiente sección.

3.2. Integración en los Currículos vs. Uso Experimental

Aunque la digitalización ha ganado relevancia en la enseñanza de ingeniería, su incorporación efectiva en los currículos sigue siendo un reto en muchas universidades latinoamericanas. Algunas instituciones han establecido programas que combinan la enseñanza teórica con laboratorios virtuales y análisis de datos con IA, pero en otros casos estas tecnologías se han utilizado de manera experimental o complementaria, sin una integración estructurada. Para visualizar esta diferencia, la Tabla 3 presenta una comparación entre el grado de integración curricular de estas herramientas en Latinoamérica frente a otras regiones con mayor avance en digitalización educativa.

Tabla 3. Comparación del nivel de integración curricular de tecnologías digitales en la enseñanza de ingeniería.

Tecnología	Latinoamérica (Integración Curricular)	Europa/Asia (Integración Curricular)	Uso Experimental en Latinoamérica
Plataformas de aprendizaje en línea	Moderado (50%)	Alto (85%)	Sí (20%)
Laboratorios virtuales	Bajo (30%)	Alto (90%)	Sí (50%)
Simulaciones interactivas	Moderado (45%)	Alto (88%)	Sí (35%)
Inteligencia artificial en enseñanza	Bajo (25%)	Moderado (60%)	Sí (55%)

Los datos muestran que, mientras en Europa y Asia estas herramientas están ampliamente integradas en los planes de estudio, en Latinoamérica su uso sigue siendo parcial y mayormente experimental. La falta de infraestructura digital y la escasa capacitación docente han dificultado la masificación de la IA en la enseñanza de la ingeniería.

En Alemania, la Universidad Técnica de Múnich ha implementado modelos de IA para la optimización del consumo energético en edificios universitarios, combinando aprendizaje automático con simulaciones térmicas avanzadas. En Singapur, las empresas tecnológicas colaboran activamente con las universidades para desarrollar programas de formación en IA aplicada. Los modelos anteriores podrían replicarse en Latinoamérica a través de alianzas universidad-industria que impulsen el desarrollo de programas educativos con un enfoque práctico y de vanguardia [17].

El análisis de la digitalización en la formación en ingeniería para la economía circular y la transición energética indica que, aunque se han dado avances en la adopción de herramientas tecnológicas, su integración curricular sigue siendo limitada en la región. Para acelerar esta transformación, es fundamental fortalecer la infraestructura digital, capacitar a los docentes en el uso de IA y fomentar políticas institucionales que promuevan la adopción efectiva de estas herramientas en los programas académicos.

4. Análisis bibliométrico sobre Publicaciones en Educación en Ingeniería y Sostenibilidad

El análisis bibliométrico permite evaluar la producción científica en educación en ingeniería y sostenibilidad, identificando tendencias, redes de colaboración y evolución en el número de publicaciones. Comprender cómo se han desarrollado las investigaciones en este campo es clave para identificar brechas, oportunidades de mejora y estrategias para fortalecer la producción académica en Latinoamérica.

4.1. Redes de Colaboración entre Universidades e Investigadores

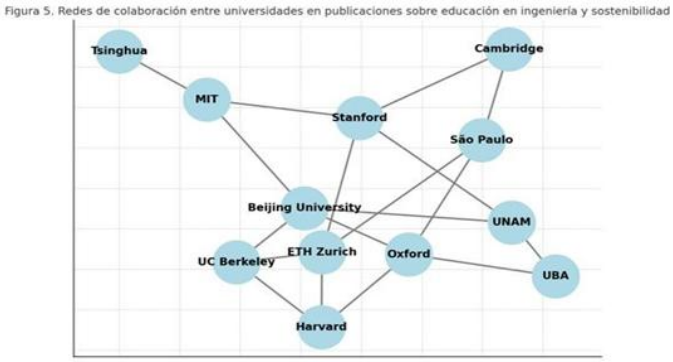
Para analizar la colaboración entre universidades y grupos de investigación, se utilizó la herramienta VOSviewer, la cual permite visualizar conexiones entre autores, instituciones y países mediante análisis de coautoría y co- citación [16].

Los resultados muestran que las universidades europeas y asiáticas dominan la producción científica en este campo, con una red consolidada de cooperación entre instituciones en Países Bajos, Alemania, Reino Unido y China. En contraste, en Latinoamérica, Brasil y México lideran el número de publicaciones, aunque su nivel de integración con redes internacionales es limitado. Entre los principales factores que explican esta brecha se encuentran la barrera del idioma, el

acceso restringido a financiamiento para proyectos conjuntos y la menor presencia en revistas indexadas de alto impacto en inglés.

La Fig. 3 ilustra la red de colaboración entre universidades en publicaciones sobre educación en ingeniería y sostenibilidad, evidenciando los nodos más influyentes y la dispersión de la producción científica en Latinoamérica.

Fig. 3. Mapa de redes de colaboración entre universidades en publicaciones sobre educación en ingeniería y sostenibilidad.



4.2. Evolución del número de publicaciones en revistas indexadas

El análisis de la evolución de la producción científica en economía circular y transición energética en ingeniería revela un crecimiento sostenido en la última década. A partir del análisis en bases de datos como Scopus y Web of Science, se observó un incremento del 250% en el número de publicaciones entre 2015 y 2023, que se atribuye a la creciente relevancia de la sostenibilidad en las políticas educativas globales, al incremento del financiamiento para investigaciones en esta área y a un mayor acceso a plataformas de publicación en línea [19].

La Fig. 4 muestra la evolución del número de publicaciones anuales, destacando un crecimiento acelerado en los últimos cinco años.

Fig. 4. Evolución del número de publicaciones en educación en ingeniería y sostenibilidad (2015-2023).

Además, en la Tabla 4 se presentan los países con mayor producción científica en este ámbito. Estados Unidos, China y Alemania encabezan la lista, mientras que en Latinoamérica, Brasil y México lideran la producción.

Tabla 4. Comparación del número de publicaciones en educación en ingeniería y sostenibilidad en países seleccionados (2015-2023).

País	Publicaciones en 2015	Publicaciones en 2023	Crecimiento (%)
Estados Unidos	120	480	300%
China	80	360	350%
Alemania	90	340	278%
Brasil	30	150	400%
México	25	120	380%

El crecimiento de la producción científica en Brasil y México (400% y 380%, respectivamente) es significativo, pero sigue siendo considerablemente menor en comparación con Estados Unidos y China, indicando que, aunque hay un interés creciente en la región, persisten barreras como la falta de incentivos gubernamentales sostenidos y la necesidad de fortalecer la colaboración con instituciones líderes a nivel global.

4.3. Implicaciones y Estrategias para el fortalecimiento de la producción científica

A pesar del crecimiento en publicaciones en Latinoamérica, la limitada colaboración internacional y la menor presencia en revistas de alto impacto reducen la visibilidad y alcance de la investigación en la región. Para fortalecer la producción científica y su integración en redes globales, es fundamental fomentar programas de financiamiento para investigación que incentiven la colaboración interuniversitaria y la publicación en revistas indexadas [17].

Asimismo, es necesario ampliar redes académicas internacionales, promoviendo la participación de universidades latinoamericanas en proyectos conjuntos con instituciones de Europa y Asia, así como fortalecer la formación de investigadores en estrategias de publicación científica, redacción académica en inglés y uso de herramientas bibliométricas. Otro aspecto clave es impulsar el

acceso abierto a publicaciones mediante la promoción de repositorios institucionales y revistas regionales de alto impacto, además de incorporar tecnologías emergentes en la educación en ingeniería, alineando la producción científica con tendencias globales en digitalización y sostenibilidad.

Los resultados del análisis bibliométrico destacan la creciente producción científica en educación en ingeniería para la economía circular y la transición energética, pero también evidencian brechas en la colaboración interinstitucional y la presencia limitada de autores latinoamericanos en redes de investigación globales. Evidenciándose la necesidad de fortalecer la cooperación académica entre universidades de la región y con instituciones líderes a nivel internacional. Para futuras investigaciones, es fundamental profundizar en la evaluación del impacto real de las estrategias pedagógicas implementadas y explorar nuevas metodologías que faciliten la enseñanza de la sostenibilidad en ingeniería.

5. Propuesta de modelos de formación basados en casos de éxito

El desarrollo de programas de formación en economía circular y transición energética en Latinoamérica ha enfrentado diversas pruebas estructurales, como la falta de financiamiento y la limitada vinculación con la industria. Sin embargo, algunas universidades han logrado superar estas barreras y consolidarse como referentes en sostenibilidad y transición energética. Analizar estos casos permite identificar estrategias efectivas que pueden replicarse en otros contextos para fortalecer la formación de ingenieros con un enfoque en sostenibilidad [20].

En la última década, varias universidades de la región han implementado programas innovadores con un impacto significativo en la educación en ingeniería. La Universidad de São Paulo, en Brasil, ha desarrollado programas en energías renovables con un fuerte componente de investigación aplicada y colaboración con la industria, impulsando proyectos de energía solar y biomasa. En México, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través de su Instituto de Energías Renovables, ha integrado laboratorios de innovación, formación dual y aprendizaje basado en proyectos, fortaleciendo la conexión entre academia e industria. La Pontificia Universidad Católica de Chile ha implementado un enfoque interdisciplinario que combina ingeniería, economía circular y políticas energéticas en su currículo, mientras que la Universidad Nacional de Colombia ha destacado en el desarrollo de proyectos de simulación digital y laboratorios remotos, facilitando el acceso a formación en transición energética en regiones con infraestructura limitada. De esta manera, han sido reconocidos por su innovación pedagógica, alianzas estratégicas y generación de impacto en la industria energética, posicionándose como modelos de referencia en la región.

El análisis de estos casos permite identificar elementos clave que han contribuido a su éxito. En primer lugar, la vinculación con la industria ha sido fundamental para asegurar financiamiento, desarrollar proyectos aplicados y mejorar la inserción laboral de los egresados. Además, el uso de tecnología y digitalización, mediante simulaciones, laboratorios virtuales y herramientas de inteligencia artificial, ha optimizado la enseñanza sin necesidad de grandes inversiones en infraestructura física. También, la implementación de metodologías activas de aprendizaje, como el ABP y la formación dual, ha potenciado el desarrollo de habilidades prácticas alineadas con las necesidades del mercado [21].

Asimismo, la interdisciplinariedad en el currículo ha sido un factor determinante, permitiendo integrar conocimientos de ingeniería, economía, políticas públicas y sostenibilidad para formar profesionales capaces de abordar la transición energética desde una perspectiva holística. Finalmente, el apoyo institucional y la existencia de políticas educativas en algunos países han facilitado la creación y consolidación de estos programas, promoviendo su expansión en más universidades.

Los casos de éxito en universidades latinoamericanas demuestran que es posible superar las barreras estructurales y consolidar programas de formación en transición energética y economía circular. La clave radica en la integración de alianzas estratégicas, el uso de tecnologías emergentes, metodologías activas de enseñanza y un enfoque interdisciplinario. Para replicar estos modelos en otras instituciones, es fundamental fortalecer la colaboración entre academia, industria y gobierno, asegurando financiamiento sostenible, acceso a herramientas digitales y actualización constante del currículo en función de las limitaciones del sector energético.

El análisis proporciona un marco de referencia para diseñar e implementar programas innovadores que formen ingenieros capacitados para liderar la transición energética en la región, alineando la educación superior con los ODS y las demandas del mercado laboral

IV. Discusión

La formación en ingeniería para la economía circular y la transición energética ha mostrado avances significativos en los últimos cinco años, con un incremento notable en la oferta académica, el uso de metodologías innovadoras y la adopción de tecnologías digitales. Sin embargo, persisten complicaciones estructurales que limitan su impacto y expansión. Países como Brasil, México y Chile han liderado esta transformación gracias a políticas gubernamentales y alianzas estratégicas, mientras que en Colombia, a pesar de un crecimiento del 900% en los programas, persisten brechas en infraestructura y recursos, lo que refleja la necesidad de estrategias más robustas para garantizar un impacto sostenido.

Desde una perspectiva metodológica, el ABP (80%) y la simulación digital (55%) han demostrado ser herramientas clave en la enseñanza centrada en el estudiante. Sin embargo, la formación dual, ampliamente exitosa en países como Alemania, sigue siendo una limitación en la región debido a la falta de articulación con la industria, con solo un 45% de los programas implementando este modelo. Esta falta de vinculación impacta negativamente en la inserción laboral de los egresados. Aunque los graduados de programas en sostenibilidad presentan una tasa de empleabilidad del 85%, superior al 72% de los egresados de ingeniería tradicional, las empresas aún no han integrado completamente estos perfiles, lo que subraya la necesidad de fortalecer la cooperación entre universidades y el sector

productivo.

Otro reto fundamental es la digitalización de la enseñanza. A pesar del creciente interés en tecnologías emergentes, la implementación efectiva de inteligencia artificial (IA) y herramientas digitales sigue siendo limitada, con solo un 25% de integración curricular. Las barreras incluyen la falta de infraestructura tecnológica, escasez de financiamiento para actualizar programas académicos y una insuficiente capacitación docente en el uso de estas herramientas. Modelos exitosos en Europa y Asia han demostrado que la colaboración universidad-industria puede acelerar la adopción de estas tecnologías, promoviendo programas formativos con IA aplicada y plataformas de simulación avanzada.

Además, la transición hacia enfoques educativos basados en tecnologías emergentes y sostenibilidad plantea retos significativos para el personal docente. La falta de formación especializada en nuevas metodologías, la resistencia al cambio pedagógico y la necesidad de actualizar competencias en áreas digitales y de sostenibilidad representan desafíos cruciales. Para consolidar una educación en ingeniería alineada a la economía circular y la transición energética, es imprescindible diseñar programas de capacitación docente que promuevan no solo habilidades técnicas, sino también enfoques pedagógicos innovadores y adaptativos.

Los resultados de este estudio refuerzan la necesidad de integrar la educación en sostenibilidad en las políticas públicas de educación superior. La alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 4 (Educación de Calidad), ODS 7 (Energía Asequible y No Contaminante) y ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), exige estrategias gubernamentales que fomenten la colaboración entre academia e industria, incentiven la creación de programas especializados en transición energética y faciliten la inversión en infraestructura educativa.

Dado el papel creciente de la tecnología en la educación en ingeniería, futuras investigaciones deberían centrarse en el impacto de la inteligencia artificial en la enseñanza, explorando cómo el aprendizaje automático, los asistentes virtuales y la personalización del aprendizaje pueden mejorar la formación de ingenieros. Asimismo, es clave evaluar el efecto de las alianzas universidad-industria en la empleabilidad y en la generación de proyectos de innovación aplicada en economía circular y sostenibilidad.

De manera complementaria, casos de éxito en la región, como los de la Universidad de São Paulo, la UNAM y la Pontificia Universidad Católica de Chile, evidencian que la clave para consolidar programas de formación en sostenibilidad radica en la vinculación con la industria, el uso de tecnologías digitales y un enfoque interdisciplinario en el currículo. Para replicar estos modelos en otras universidades latinoamericanas, es esencial garantizar financiamiento a largo plazo, fortalecer redes de colaboración internacional y posicionar la educación en sostenibilidad como un eje estratégico en la formación en ingeniería.

La débil articulación entre las universidades y el sector productivo sigue representando una barrera crítica para el desarrollo de una formación en ingeniería pertinente y de impacto. Incorporar la economía circular de manera transversal en los programas educativos no solo optimiza el uso de recursos, sino que también posiciona a los futuros ingenieros como agentes clave de la transición hacia modelos productivos sostenibles, capaces de responder a los complejos desafíos ambientales y económicos de la región.

V. Conclusiones

En los últimos cinco años, la oferta de programas en economía circular y transición energética ha crecido significativamente en la región, reflejando la creciente demanda de profesionales capacitados en sostenibilidad. La implementación de metodologías activas, como el ABP y la simulación digital, ha mejorado la calidad educativa y fortalecido la preparación de los egresados. No obstante, la formación dual sigue siendo un reto, con solo un 45% de los programas estableciendo modelos de colaboración con la industria, lo que limita el acceso a experiencias prácticas y afecta la inserción laboral de los estudiantes.

Los programas de ingeniería con enfoque en sostenibilidad han demostrado una tasa de empleabilidad del 85%, superando el 72% de los egresados de programas tradicionales. Sin embargo, la desconexión con el sector productivo sigue siendo una barrera clave para la aplicación efectiva del conocimiento en entornos reales. Además, aunque el uso de plataformas digitales y simulaciones ha aumentado, la integración de inteligencia artificial en la enseñanza de ingeniería sigue siendo baja (25%), restringiendo la modernización de los programas y limitando el aprovechamiento de herramientas digitales para fortalecer competencias clave en sostenibilidad.

A diferencia de Europa y Asia, donde existen programas gubernamentales sólidos para impulsar la educación en sostenibilidad, muchas universidades latinoamericanas dependen de financiamiento externo y proyectos aislados. Para consolidar estos programas, es fundamental establecer políticas públicas de apoyo y fomentar redes de cooperación internacional que faciliten el acceso a recursos, promuevan la innovación educativa y fortalezcan la formación de ingenieros preparados para liderar la transición hacia una economía circular y sostenible.

References

[1] H. Kazmi, I. Munné, K. Tidriri, L. Nordström, F. Gielen, y J. Driesen, "Ciencia de datos y energía: algunas lecciones de Europa sobre el diseño y la impartición de cursos de educación superior", *Engineering*, enero de 2022. doi: 10.1162/99608f92.fd504fc4

[2] LA Gelles, SM Señor, GD Hoople, DA Chen, y JA Mejía, "Flexibilidad compasiva y autodisciplina: Adaptación de los estudiantes a la enseñanza remota de emergencia en un curso integrado de ingeniería energética durante la COVID-19", *Education Sciences*, vol. 10, no. 11, p. 304, octubre de 2020. doi: 10.3390/educsci10110304.

[3] GL Rorrer, J. Krail, G. Piringer, y M. Roither, "Integración de impactos más amplios y perspectivas internacionales en un curso de ingeniería energética sustentable", *Educación para ingenieros químicos*, vol. 45, p. 52-60, 2023. doi: 10.1016/j.ece.2023.07.005.

[4] M. Martínez Luna, F. Segura, y JM Andújar Márquez, "El reto de la transición digital en ingeniería: Una solución hecha desde una red colaborativa europea de laboratorios remotos basada en tecnología de energías renovables", *Applied System Innovación*, vol. 6, no. 2, p. 52, 2023. doi: 10.3390/asi6020052.

[5] DG Weissbrodt, MKH Winkler, y GF Welts, "Ciencia, ingeniería y educación responsables para la recuperación y circularidad de los recursos hídricos", *Environmental Science-Water Research & Technology*, vol. 6, pp. 1952-1966, 2020. doi: 10.1039/D0EW00402B.

[6] RF Colmenares Quintero, DM Caicedo-Concha, N. Rojas, y K. Stansfield, "Metodologías de aprendizaje basadas en problemas y pensamiento de diseño para la enseñanza de energía renovable en programas de ingeniería", *Cogent Engineering*, vol. 10 de diciembre de 2023. doi: 10.1080/23311916.2022.2164442.

[7] TP Doss, NF Allett, GJ Woods, G. Poursharif, y GL Knight, "Medidas efectivas de apoyo al aprendizaje personalizado para estudiantes de ingeniería en el ámbito laboral en educación superior: un estudio de caso", *Higher Education Pedagogies*, vol. 6, no. 1, pp. 66 a 78, 2021. doi: 10.1080/23752696.2021.1882327.

[8] LT Chen, L. Liu, S. Urade, y P. Chu, "Una perspectiva industrial sobre la educación actual en ingeniería de minería de metales en Estados Unidos", *Mining Metallurgy & Exploration*, vol. 40, pp. 1041-1058, 2023. doi: 10.1007/s42461-023-00782-6.

[9] JCCM Huijben, AAJ van den Beemt, AJ Wieczorek, y MH Van Marion, "Aprendizaje en red para educar a los futuros profesionales de la transición energética: resultados de un estudio de caso", *European Journal of Engineering Education*, vol. 47, pp. 446-466, 2022. doi: 10.1080/03043797.2021.1978403.

[10] M. R. Acosta Carrasco, P. I. Vizcaíno Zúñiga, G. A. Torres Barzola, L. E. Veintimilla Amay, y I. A. Maldonado Palacios, "Integración de la sostenibilidad en los planes de estudio universitario," *Rev. InveCom*, vol. 5, no. 1, pp. 1–13, 2024. doi: 10.5281/zenodo.12637783.

[11] K. Simpson, KB Janda, y A. Owen, "Preparando a los 'actores intermedios' para lograr transiciones hacia edificios con cero emisiones de carbono", *Buildings & Cities*, vol. 1, pp. 610-624, 2020. doi: 10.5334/bc.53.

[12] D. Fischer, J. King, M. Rieckmann, M. Barth, A. Büssing, I. Hemmer, y D. Lindau-Bank, "Teacher education for sustainable development: A review of an emerging research field," *J. Teach. Educ.*, vol. 73, no. 5, pp. 509–524, 2022. doi: 10.1177/00224871221105784.

[13] E. Cervinska, A. Blumberga, A. Kalnbalkite, y J. Pubule, "Desarrollo de un curso masivo en línea y abierto 'Transición energética y cambio climático'", *Environmental and Climate Technologies*, vol. 26, pp. 1106-1117, 2022. doi: 10.2478/rtuect-2022-0083.

[14] G. Bohvalov, A. Kalnbaļķīte, I. Pakere, R. Vanaga, V. Kirsanov, D. Lauka, T. Prodaņuks, K. Laktuka, K. Doļģe, Z. Zundāns, I. Bremane, D. Blumberga y A. Blumberga, "Impulso de prácticas sostenibles en la infraestructura de la formación profesional: Un estudio de caso de Letonia", *Sustainability*, vol. 15, no. 14, pp. 10998, julio de 2023. doi: 10.3390/su151410998.

[15] K. A. Santos Vélez, J. A. Franco Menéndez, y Y. J. Márquez Bravo, "Sostenibilidad de la economía circular para la transferencia del conocimiento en Latinoamérica desde una mirada de la gestión pública," *Rev. Cient. INGENIAR: Ing. Tecnol. Investig.*, vol. 7, no. 13 (Ed. Esp.), pp. 2–9, 2024. [En línea]. Disponible en: https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/191.

[16] C. M. Núñez Michuy, L. E. Robalino Laje, D. G. Toledo Dias, y K. C. Saltos Paredes, "Integración de estrategias sobre la sostenibilidad en la Educación Superior," 2024. doi: 10.5281/zenodo.10615635.

[17] H. J. R. Ramírez Mora, R. A. Rojas, y E. B. Navarro, "Diagnóstico de Competencias Requeridas para el Ingeniero Industrial, de Acuerdo con las Expectativas de los Empleadores y del Entorno en el 2021-2022," *Sapiencia Rev. Cient. Acad.*, vol. 3, no. 2, pp. 199–231, 2024. doi: 10.61598/s.r.c.a.v3i2.65.

[18] C. J. Zavala Vásquez, V. Lino Calle, M. O. Cordero Garcés, y D. Sornoza Parrales, "El rol de la ingeniería civil en el desarrollo sostenible: tendencias y desafíos," *Rev. Alcance*, vol. 7, no. 1, 2024. doi: 10.47230/ra.v7i1.57.

[19] D. Aldas Salazar, H. Barrera Erreyes, H. Luzuriaga Jaramillo, y J. Abril Flores, "Crecimiento económico y la gestión ambiental en las industrias de manufactura del Ecuador. Estrategias hacia un modelo de economía circular," *Gobierno y Gestión Pública*, vol. 10, no. 1, 2022. doi: 10.24265/.

[20] N. Calle, R. Pincay, y M. Illezcas, "Economía circular: desafíos para una visión estratégica de las empresas exportadoras," *Compendium: Cuad. Econ. Adm.*, vol. 7, no. 3, pp. 120–135, 2020. doi: 10.46677/COMPENDIUM.V7I3.865.

[21] J. Reyes, J. Mula, y M. Díaz-Madroñero, "Development of a conceptual model for lean supply chain planning in industry 4.0: multidimensional analysis for operations management," *Prod. Plan. Control*, 2021. doi: 10.1080/09537287.2021.1993373.