What Shapes the Sustainability Awareness of Future Engineers? The Role of Applied Research in Undergraduate Education

Abstract– **Higher education faces the challenge of preparing engineers with a strong awareness of sustainability. Applied research may offer an effective educational pathway; however, it remains unclear which dimensions of the research experience contribute most to this outcome. This quantitative, cross-sectional study, with correlational and explanatory scopes, involved 50 engineering students from Peruvian universities who had taken part in applied research during their undergraduate studies. Four dimensions of the research experience (research opportunities, mentoring, research competencies, and institutional resources) were examined as predictors of sustainability awareness, all measured with Likert-type scales. Data were analyzed in IBM SPSS Statistics, version 28, using Spearman correlations and multiple linear regression. The model explained 61.6% of the variance in sustainability awareness ($R^2 = 0.616$; $F(4, 45) = 18.04$; $p < 0.001$). Research competencies were the strongest independent predictor ($\beta = 0.563$; $f^2 = 0.325$), followed by research opportunities ($\beta = 0.292$), whereas mentoring and institutional resources made no independent contribution once the other dimensions were controlled. These findings point to the development of research competencies as the main mechanism through which applied research can strengthen sustainability awareness in undergraduate engineering education, and they suggest that universities should give priority to structured research experiences within their curricula.**

Keywords– **applied research, sustainability awareness, engineering education, research competencies, education for sustainable development.**

¿Qué Forma la Conciencia de Sostenibilidad del Futuro Ingeniero? El Papel de la Investigación Aplicada en la Formación de Pregrado

***Resumen*– La educación superior enfrenta el desafío de formar ingenieros con una sólida conciencia de sostenibilidad. La investigación aplicada puede ofrecer una vía formativa eficaz; sin embargo, aún no está claro qué dimensiones de la experiencia investigativa contribuyen en mayor medida a ese resultado. El estudio, cuantitativo, de alcance correlacional y explicativo y con diseño transversal no experimental, contó con una muestra de cincuenta estudiantes de ingeniería de universidades peruanas que habían participado en investigación aplicada durante su formación de pregrado. Se examinaron cuatro dimensiones de la experiencia investigativa (oportunidades de investigación, mentoría, competencias investigativas y recursos institucionales) como predictoras de la conciencia de sostenibilidad, todas medidas con escalas tipo Likert. Los datos se analizaron en IBM SPSS Statistics, versión 28, mediante correlaciones de Spearman y regresión lineal múltiple. El modelo explicó el 61,6 % de la varianza de la conciencia de sostenibilidad ($R^2 = 0,616$; $F(4, 45) = 18,04$; $p < 0,001$). Las competencias investigativas fueron el predictor independiente más fuerte ($\beta = 0,563$; $f^2 = 0,325$), seguidas de las oportunidades de investigación ($\beta = 0,292$), mientras que la mentoría y los recursos institucionales no aportaron una contribución independiente una vez controladas las demás dimensiones. Los hallazgos señalan el desarrollo de competencias investigativas como el mecanismo principal por el que la investigación aplicada puede fortalecer la conciencia de sostenibilidad en la formación de ingenieros, y sugieren que las universidades deberían priorizar experiencias de investigación estructuradas dentro del currículo.**

***Palabras clave*– investigación aplicada, conciencia de sostenibilidad, formación de ingeniería, competencias investigativas, educación para el desarrollo sostenible.**

I. Introducción

La educación superior contemporánea da prioridad a la formación de ingenieros capaces de responder a los desafíos del desarrollo sostenible, ya que las soluciones basadas en la ingeniería impactan directamente en las dimensiones ambiental, social y económica de la sostenibilidad. En consecuencia, la integración de la investigación aplicada en los programas de pregrado se ha consolidado como un enfoque educativo que conecta el aprendizaje con la resolución práctica de problemas en el contexto de diversas cuestiones ambientales [1]. Entendida como una indagación formal orientada a producir soluciones fiables, la investigación aplicada permite que los estudiantes vinculen la teoría con la práctica y comiencen a desarrollar una conciencia crítica sobre las consecuencias de su actividad profesional [2], [3].

Se espera que los futuros ingenieros comprendan el impacto ambiental de las soluciones técnicas e incorporen criterios de sostenibilidad en sus diseños; esta expectativa ha dado lugar a una competencia transversal [4] exigida por los marcos de acreditación y vinculada directamente con la Agenda 2030 [5]. Esta conciencia no se desarrolla por sí sola, sino que depende de experiencias educativas con propósito, en las que se presentan a los estudiantes desafíos complejos relativos a problemas reales [5]. La investigación aplicada está, por tanto, bien posicionada para desarrollar esta sensibilidad al situar a los estudiantes frente a desafíos auténticos [6].

Los enfoques basados en la investigación y en la indagación han demostrado ser eficaces en la educación en ingeniería para mejorar competencias como el pensamiento crítico, la capacidad analítica y la resolución de problemas [7], [8]. Múltiples estudios han documentado que los estudiantes desarrollan habilidades de investigación y autonomía intelectual al participar en proyectos de investigación [9]. Sin embargo, la relación entre estas experiencias y la formación específica de la conciencia de sostenibilidad ha recibido menor atención, en particular en el contexto de las universidades latinoamericanas, donde la integración de la investigación aplicada enfrenta restricciones de recursos e infraestructura [10].

La investigación sobre la educación en ingeniería para la sostenibilidad ha explorado el papel de los planes de estudio, las metodologías activas y las competencias profesionales [11], [12]. Numerosos trabajos han examinado el desarrollo de competencias de sostenibilidad en estudiantes de ingeniería y su vínculo con las prácticas pedagógicas [13], [14]. Estas contribuciones han enriquecido la comprensión del fenómeno, aunque una parte considerable se ha centrado en descripciones curriculares o en experiencias puntuales, con menor atención al análisis empírico de qué dimensiones de la experiencia investigativa predicen efectivamente la formación de la conciencia de sostenibilidad.

De lo anterior se desprende la brecha que motiva la presente investigación. Si bien la literatura ha establecido por separado la relevancia de la investigación aplicada y de la educación para la sostenibilidad, persiste la necesidad de evidencia empírica sobre cuáles dimensiones de la experiencia investigativa, a saber, las oportunidades de participación, la mentoría, el desarrollo de competencias y los recursos institucionales, contribuyen en mayor medida a la formación de la conciencia de sostenibilidad del estudiante de ingeniería. Comprender esta cuestión resulta crucial para orientar el diseño de programas que aspiren a formar ingenieros comprometidos con el desarrollo sostenible [1].

Atendiendo a esta brecha, el objetivo general de la investigación consiste en determinar en qué medida las dimensiones de la experiencia en investigación aplicada predicen la conciencia de sostenibilidad en estudiantes de ingeniería de universidades peruanas. De este propósito se derivan tres objetivos específicos, orientados a caracterizar las percepciones de los estudiantes sobre las dimensiones de la experiencia investigativa, a estimar la relación entre dichas dimensiones y la conciencia de sostenibilidad, y a determinar

mediante un modelo de regresión múltiple la contribución relativa de cada dimensión. La contribución del estudio radica en aportar evidencia empírica que informe el diseño de estrategias de integración de la investigación aplicada orientadas a la formación de ingenieros para el desarrollo sostenible.

II. Marco Teórico

A. Investigación aplicada en la formación de ingeniería

El modelo que integra la educación de pregrado con la investigación parte del supuesto de que los estudiantes aprenden mejor cuando participan activamente en la generación de conocimiento. El aprendizaje orientado a la investigación y basado en la indagación se ha mostrado promisorio en la educación en ingeniería como vía para cultivar competencias complejas [7]. Esta lógica adquiere relevancia social en la investigación aplicada, cuyo propósito es resolver preguntas prácticas del entorno, lo que implica vincular la formación con las necesidades reales de la sociedad [6], [9]. La literatura sostiene que no es solo la presencia de la experiencia investigativa, sino su calidad, lo que determina resultados positivos de aprendizaje, de ahí el énfasis en un diseño pedagógico cuidadoso [8].

La experiencia investigativa está compuesta por distintas capas que actúan de manera conjunta. Las oportunidades de participación constituyen la primera condición de la experiencia, pues suponen el acceso a proyectos y la asignación de un rol activo al estudiante [10]. La mentoría, entendida en este trabajo como el acompañamiento que docentes y asesores brindan al estudiante durante el proceso investigativo (y que otras tradiciones denominan tutoría o asesoría de investigación), orienta ese proceso y ofrece retroalimentación formativa [3]. Las competencias investigativas, desde la formulación del problema hasta el análisis de datos, son resultados centrales de la experiencia [13]. Por último, los recursos institucionales, al configurar las condiciones materiales, pueden tanto habilitar como limitar la actividad investigativa [11].

La literatura que explora la integración de la investigación y la innovación en la educación superior ofrece puntos de vista diversos, a veces contradictorios, y proviene de contextos disciplinarios variados [2], [3], [4], [5]. Diferentes investigaciones han explorado el desarrollo de competencias mediante experiencias basadas en la indagación en disciplinas como la ingeniería y las ciencias aplicadas [15], [16] o desde una perspectiva general [17]. La investigación aplicada también ha destacado los enfoques orientados a problemas para dirigir la formación hacia necesidades productivas y sociales [18], [19]. De manera similar, se subraya la contribución de las innovaciones educativas y de las nuevas metodologías en la transformación de la educación superior [20], [21].

B. La conciencia de sostenibilidad como resultado formativo

La conciencia de sostenibilidad en la ingeniería implica que el futuro profesional sea capaz de tomar decisiones competentes respecto de las soluciones técnicas y de su aplicabilidad a cuestiones ambientales, sociales y económicas, considerando criterios de sostenibilidad como parte del proceso de diseño. Al tratarse de una competencia transversal en los marcos de acreditación, requiere una formación que vaya más allá de lo técnico e inculque la reflexión ética sobre la responsabilidad del ingeniero [4], [12]. La educación para el desarrollo sostenible en ingeniería ha planteado la necesidad de experiencias que enfrenten a los estudiantes a la complejidad de los problemas del mundo real, en los que los aspectos técnicos y los de sostenibilidad están inherentemente vinculados [5], [10]. En ese sentido, la investigación aplicada proporciona condiciones adecuadas para fomentar esta conciencia, ya que aborda problemas reales del entorno [14].

En los últimos años ha aumentado el interés por las competencias de sostenibilidad en la educación superior, y la investigación se ha centrado en medirlas [22], en desarrollarlas como parte de los resultados de aprendizaje [23] o en especificar su integración curricular [24]. La literatura sobre emprendimiento sostenible y verde ha mostrado, desde distintas perspectivas, que la formación repercute positivamente en la orientación hacia la sostenibilidad [25], [26]. Los hallazgos procedentes de contextos de salud y de otros campos aplicados han consolidado el valor transversal de estas competencias [27], [28]. La formación de la conciencia de sostenibilidad guarda, además, una relación estrecha con los Objetivos de Desarrollo Sostenible relativos a la educación de calidad y a la industria, la innovación y la infraestructura [2].

La literatura ha documentado que las competencias de sostenibilidad se desarrollan de manera más efectiva cuando se integran en experiencias prácticas que cuando se abordan de forma exclusivamente teórica [13], [11]. En el contexto de la ingeniería, el desarrollo de competencias investigativas parece constituir un antecedente relevante de la conciencia de sostenibilidad, dado que la indagación rigurosa sobre problemas reales revela las implicaciones ambientales y sociales de las soluciones técnicas [12].

C. Dimensiones predictoras: hacia el modelo

Usando las dimensiones de la experiencia a partir de la investigación sobre actividades investigativas y la conciencia sobre la sostenibilidad como marco, es posible desarrollar un modelo para explorar este fenómeno con mayor profundidad. En el contexto del aprendizaje relacionado con el trabajo, las capacidades investigativas serían el resultado principal de la investigación patrocinada que resulta en una comprensión más profunda de la sostenibilidad. Conocer las implicaciones de las acciones alternativas en relación con la consecución de los objetivos de sostenibilidad es fundamental en este contexto. [7], [13]. Las oportunidades de participación operarían como una condición habilitante, en la medida en que el acceso a proyectos auténticos expone al estudiante a los desafíos de la sostenibilidad [6].

El papel de la mentoría y de los recursos institucionales resulta menos evidente. Si bien ambas dimensiones se consideran importantes para la experiencia investigativa, su contribución directa a la formación de la conciencia de sostenibilidad podría ser menor que la de las competencias, dado que operan como condiciones de contexto antes que como mecanismos formativos directos [10], [11]. El examen empírico

de la contribución relativa de estas cuatro dimensiones permite discernir cuáles constituyen los verdaderos motores de la conciencia de sostenibilidad, cuestión de relevancia para el diseño de programas de formación en ingeniería orientados al desarrollo sostenible [1], [8].

La evidencia reciente proveniente de diversos contextos institucionales y nacionales refuerza la pertinencia de examinar empíricamente los determinantes de la formación en sostenibilidad. Estudios en distintas regiones han analizado el papel de la investigación y la innovación en el desarrollo de competencias sostenibles [29], [30], [31]. La incorporación de tecnologías emergentes y de enfoques pedagógicos innovadores ha ampliado las posibilidades de la formación investigativa [32], [33], [34]. Estos aportes conforman el trasfondo empírico sobre el cual se examina la contribución de las dimensiones de la experiencia investigativa [35].

III. Método

A. Enfoque, diseño y participantes

La investigación fue cuantitativa, de alcance correlacional y explicativo, con un diseño transversal no experimental. La muestra estuvo conformada por cincuenta estudiantes de programas de ingeniería de universidades peruanas, obtenida mediante un procedimiento de conveniencia no probabilístico, con representación de las especialidades de ingeniería ambiental, industrial, de minas, civil y metalúrgica, y una composición de género equilibrada. La condición de inclusión fue haber participado en investigación aplicada durante el pregrado. Se consideró que un estudiante cumplía esta condición cuando había intervenido al menos una vez, con un rol activo en alguna de sus fases (formulación del problema, recolección o análisis de datos, o elaboración de la propuesta de solución), en un proyecto orientado a resolver un problema real del entorno, con independencia de que el proyecto formara parte de un curso, de un semillero o grupo de investigación, o del trabajo de tesis. Se restringió la muestra a estos estudiantes porque el estudio busca evaluar la experiencia de quienes efectivamente han vivido este tipo de investigación. La participación fue voluntaria y las respuestas se mantuvieron anónimas.

B. Instrumento y variables

Los datos se recopilaron mediante la Escala de Percepción sobre la Integración de la Investigación Aplicada en la Educación en Ingeniería, compuesta por ítems (enunciados o afirmaciones ante los que el estudiante expresa su grado de acuerdo) de tipo Likert de cinco puntos. El instrumento evalúa cuatro dimensiones predictoras y una dimensión de resultado. Las oportunidades y la experiencia investigativa se midieron mediante ocho ítems referidos al acceso a proyectos y al rol del estudiante; la mentoría, mediante cuatro ítems sobre la calidad del acompañamiento; las competencias investigativas, mediante doce ítems sobre las habilidades desarrolladas; y los recursos institucionales, mediante ocho ítems sobre infraestructura y condiciones. La conciencia de sostenibilidad, variable dependiente, se evaluó mediante cuatro ítems relativos a la comprensión de los impactos ambientales y a la incorporación de criterios de sostenibilidad. Los ítems formulados en sentido negativo se recodificaron para el análisis. La dimensión de competencias investigativas exhibió una consistencia interna excelente, con un coeficiente alfa de Cronbach de 0,96.

C. Análisis de datos

El procesamiento se ejecutó en el programa IBM SPSS Statistics, versión 28. En primer término se calcularon los estadísticos descriptivos de las cinco dimensiones y se evaluó el supuesto de normalidad mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov con la corrección de Lilliefors. La magnitud de las asociaciones entre las dimensiones predictoras y la conciencia de sostenibilidad se estimó con el coeficiente de correlación de Spearman, seleccionado por el incumplimiento del supuesto de normalidad en la variable dependiente. La contribución relativa de las cuatro dimensiones sobre la conciencia de sostenibilidad se estableció mediante un modelo de regresión lineal múltiple, con reporte del coeficiente de determinación, la prueba F, los coeficientes estandarizados, el tamaño del efecto de Cohen y el factor de inflación de la varianza como diagnóstico de colinealidad.

IV. Resultados

A. Análisis descriptivo

Los estudiantes reportaron percepciones favorables en las cinco dimensiones evaluadas, con medias comprendidas entre 3,74 y 4,28 sobre 5. La dimensión de competencias investigativas registró la media más elevada, lo que indica que los estudiantes valoran de manera destacada las habilidades desarrolladas durante la experiencia investigativa. La conciencia de sostenibilidad, variable dependiente, presentó una media de 3,74. La prueba de normalidad reveló que la conciencia de sostenibilidad se aparta de la distribución normal, lo que determinó la elección del coeficiente de Spearman para el análisis de asociación. La Tabla I reúne los estadísticos descriptivos y los resultados de la prueba de normalidad de las cinco dimensiones.

Tabla I
Estadísticos descriptivos y prueba de normalidad de las dimensiones (N = 50).

Dimensión	*M*	*DE*	KS	*p*
Oportunidades/experiencia	3,79	0,47	0,166	0,112
Mentoría	3,87	0,53	0,220	0,014*
Competencias investigativas	4,28	0,68	0,188	0,051
Recursos institucionales	3,84	0,58	0,191	0,046*
Conciencia de sostenibilidad	3,74	0,45	0,234	0,007**

Nota. M = media (escala 1–5); DE = desviación estándar; KS = estadístico de Kolmogórov-Smirnov con corrección de Lilliefors. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ indican desviación de la normalidad. La conciencia de sostenibilidad es la variable dependiente.

B. Análisis de correlación

El análisis de correlación, que responde al segundo objetivo, reveló asociaciones positivas, significativas y de magnitud considerable entre las cuatro dimensiones predictoras y la conciencia de sostenibilidad. Las oportunidades de investigación y las competencias investigativas mostraron las

asociaciones más fuertes con la conciencia de sostenibilidad, con coeficientes de Spearman de 0,711 y 0,706, respectivamente. La mentoría también presentó una correlación significativa, de magnitud algo menor. Estos resultados, sintetizados en la Tabla II, indican que las dimensiones de la experiencia investigativa se relacionan de manera consistente con la formación de la conciencia de sostenibilidad, si bien la correlación no permite establecer la contribución independiente de cada dimensión, cuestión que aborda el modelo de regresión.

TABLA II
CORRELACIONES DE SPEARMAN ENTRE LAS DIMENSIONES Y LA CONCIENCIA DE SOSTENIBILIDAD (N = 50).

Dimensión predictora	*ρ*	*p*	IC 95 %
Oportunidades/experiencia	0,711***	< 0,001	[0,54; 0,83]
Mentoría	0,604***	< 0,001	[0,40; 0,75]
Competencias investigativas	0,706***	< 0,001	[0,53; 0,82]
Recursos institucionales	0,548***	< 0,001	[0,32; 0,72]

Nota. ρ = coeficiente de Spearman, seleccionado por la no normalidad de la variable dependiente; los intervalos de confianza se estimaron mediante la transformación z de Fisher. *** p < 0,001. Todas las correlaciones fueron significativas.

C. Modelo de regresión múltiple

Para abordar el tercer objetivo, se creó un modelo de regresión lineal múltiple para analizar los efectos de la conciencia de sostenibilidad y las cuatro dimensiones de la experiencia investigativa. El modelo fue significativo y explicó el 61.6% de la variación de la conciencia de sostenibilidad (R^2 = 0.616). Las otras dimensiones del modelo incluyeron mentorización y recursos institucionales y dimensiones de investigación y oportunidad (R & O). Dos de las dimensiones, a saber, mentorización y recursos institucionales y de investigación y oportunidad, no tuvieron un efecto significativo sobre la conciencia de sostenibilidad en el modelo. Las otras dos dimensiones, que eran las competencias de investigación y la mentorización, combinadas con los recursos institucionales, tuvieron un efecto significativo sobre la conciencia de sostenibilidad. De las cuatro dimensiones, las competencias de investigación tuvieron el mayor efecto y un tamaño de efecto grande (f^2 = 0.325). La otra dimensión, que eran las oportunidades de investigación, tuvo un tamaño de efecto (f^2 = 0.143) y un coeficiente estandarizado de 0.292. Las otras dimensiones tuvieron un tamaño de efecto inferior a 0.1.

TABLA III
MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA LA CONCIENCIA DE SOSTENIBILIDAD (N = 50).

Predictor	B (EE)	*β*	*t*	*f²*
Constante	1,036 (0,385)	—	2,69	—
Oportunidades/exp.	0,277* (0,128)	0,292	2,17	0,105
Mentoría	0,064 (0,112)	0,075	0,57	0,007
Competencias inv.	0,374*** (0,098)	0,563	3,83	0,325
Recursos instit.	-0,048 (0,096)	-0,063	-0,50	0,006
R^2 / R^2 ajustado	0,616 / 0,582			
F(4, 45) / p	18,04*** / < 0,001			
VIF (máx.) / DW	2,54 / 1,94			

Nota. Variable dependiente: conciencia de sostenibilidad. B = coeficiente no estandarizado, con error estándar (EE) entre paréntesis; β = coeficiente estandarizado; f^2 = tamaño del efecto de Cohen; VIF = factor de inflación de la varianza; DW = Durbin-Watson. Todos los VIF fueron inferiores a 2,6, sin colinealidad problemática. * p < 0,05; *** p < 0,001.

V. DISCUSIÓN

Los resultados indican que la conciencia de sostenibilidad de los estudiantes de ingeniería se explica principalmente por el desarrollo de competencias investigativas y, en menor medida, por las oportunidades de participar en investigación aplicada, más que por la mentoría o los recursos institucionales. Este hallazgo es consistente con la perspectiva del aprendizaje experiencial, según la cual la participación rigurosa en el estudio de problemas del mundo real permite reconocer los impactos ambientales y sociales de las soluciones técnicas [7]. El predominio de las competencias investigativas como predictor implica que la conciencia de sostenibilidad no se forma simplemente con más discurso sobre el tema, sino que requiere entrenar con éxito las habilidades para indagar [13], [12].

Una interpretación de estos hallazgos en el marco de la educación para el desarrollo sostenible respalda el papel de la investigación aplicada en la formación de ingenieros alineados con la Agenda 2030, a través de un mecanismo central: el desarrollo de competencias investigativas. Una explicación de esta fuerte relación es que involucrarse con problemas reales obliga al estudiante a enfrentar la complejidad de los efectos de las soluciones de ingeniería, lo que refuerza su conciencia de sostenibilidad [6], [14]. Esta lectura está relacionada con la evidencia que concierne a la parte que la experiencia práctica desempeña en la construcción de habilidades de sostenibilidad [11].

El hecho de que la mentoría y los recursos institucionales no tengan un efecto directo en la conciencia de sostenibilidad debe ser considerado con precaución. La ausencia de un efecto directo no significa que la mentoría y los recursos institucionales no sean importantes. Indica que, en el caso de la conciencia de sostenibilidad, tienen un efecto a través de otros medios y, especialmente, mediante el desarrollo de habilidades. El efecto no se logra si no existe la capacidad de realizar investigaciones en esta área. [10], [11]. Esto evidencia que los aspectos cualitativos de la experiencia formativa afectan los resultados, además de las condiciones. [8].

Los resultados están conectados con investigaciones que estudian asuntos relacionados y combinan la formación ligada al trabajo con el desarrollo de competencias dentro del ámbito de la educación superior. La investigación de otros diseños puede utilizarse para comparar con los resultados. Las trayectorias escalonadas de experiencia investigativa en pregrado han sido propuestas como vía para construir competencias de investigación en sostenibilidad [8], y el aprendizaje basado en problemas integrado en cursos de ingeniería se ha vinculado con el desarrollo simultáneo de competencias técnicas y de sostenibilidad [10], en línea con el peso que aquí adquieren las competencias investigativas. El logro de competencias de sostenibilidad en el pregrado también ha sido examinado en función de las experiencias formativas recibidas [11], y estudios sobre programas de investigación de pregrado han advertido que los resultados dependen de la composición de los grupos y del diseño de la experiencia más que de su mera existencia [32], lo que converge con la nula contribución independiente de los recursos y la mentoría

hallada aquí. Muchos tipos de investigación respaldan la idea de que las experiencias que implican indagación pueden fortalecer varias disposiciones relacionadas con la sostenibilidad. [36], [37], [38] y la independencia intelectual de los estudiantes [39], [40]. Esta investigación se suma a los estudios previos al cuantificar el papel relativo de los elementos de la experiencia investigativa en el reconocimiento de la sostenibilidad en la ingeniería.

El estudio obtiene ideas sobre los factores determinantes de la conciencia sobre la sostenibilidad en la educación ingeniería y sugiere mejoras a los programas y cursos educativos relacionados. Sin embargo, existen varias deficiencias en el diseño del estudio. El número de participantes, 50 estudiantes con experiencia en investigación, limita el estudio en términos de alcance y análisis estadístico. Además, debido a la naturaleza transversal del estudio y a las autoevaluaciones, no se pueden extraer inferencias causales, especialmente por la tendencia de los encuestados a evaluarse favorablemente. Además, algunas dimensiones del instrumento muestran fiabilidad moderada, debido a muestras pequeñas. Otras deficiencias del estudio podrían abordarse mediante investigaciones a gran escala y longitudinales centradas en la evaluación a gran escala del instrumento.

VI. Conclusiones

Esta investigación demuestra que la conciencia de sostenibilidad de los ingenieros es resultado del desarrollo de habilidades de investigación y de la oportunidad de realizar investigación.

De las cuatro dimensiones evaluadas, es decir, habilidades de investigación, participación, mentoría y recursos institucionales disponibles, las habilidades de investigación y la participación son las dimensiones más importantes al explicar la conciencia de la sostenibilidad, la mentoría y los recursos institucionales siendo de menor importancia.

El estudio aporta información importante para diseñar programas nuevos y ajustar los existentes en la educación en ingeniería para proporcionar oportunidades a los estudiantes de ingeniería para realizar investigaciones sobre problemas del mundo real. Por lo tanto, el estudio justifica la necesidad de investigación en la educación en ingeniería para desarrollar la conciencia de los ingenieros sobre la sostenibilidad.

La investigación futura puede explorar otras disciplinas y otros lugares, utilizar diferentes métodos de investigación durante períodos de tiempo más largos para determinar cuándo y cómo evoluciona la conciencia de la sostenibilidad en los estudiantes de ingeniería. Además, el instrumento de evaluación utilizado en el estudio para medir la integración de la investigación en la educación en ingeniería también puede mejorarse para proporcionar una base más sólida para la evaluación del área de investigación y para reducir las brechas en la educación en ingeniería para lograr la sostenibilidad.

Referencias

[1] S. Malhotra and R. Kiran, "Integrating Cognitive Competency, Social Competency and Risk Propensity with the Theory of Planned Behaviour to Attain Sustainable-Development-Goal-8-Driven Sustainable Entrepreneurial Intentions," Sustainability, vol. 16, no. 10, pp. 3888, 2024, doi: 10.3390/su16103888.

[2] L. Leiva-Lugo, I. Álvarez-Icaza, F.J. López-Hernández, and J. Miranda, "Entrepreneurial thinking and Education 4.0 in communities with development gaps: an approach through the Sustainable Development Goals," Frontiers in Education, vol. 9, art. 1377709, 2024, doi: 10.3389/feduc.2024.1377709.

[3] D. Cordero, S. Astudillo, and D. Cisneros, "Attributes and Entrepreneurial Intention in University Students of Electrical Engineering and Computing Sciences," IEEE Transactions on Education, vol. 66, no. 4, pp. 386-392, 2023, doi: 10.1109/TE.2023.3253839.

[4] B. Bradač Hojnik, "Integrating Playful Learning to Enhance Education for Sustainability: Case Study of a Business School in Slovenia," Sustainability, vol. 16, no. 22, pp. 9953, 2024, doi: 10.3390/su16229953.

[5] A. Hamdi and A. Al Thobaity, "Enhancing Disaster Triage Competencies through Simulation-Based Training: An Interventional Study among Undergraduate Nursing Students," Sustainability, vol. 15, no. 21, pp. 15513, 2023, doi: 10.3390/su152115513.

[6] E. Ota and R. Murakami-Suzuki, "Effects of Online Problem-Based Learning to Increase Global Competencies for First-Year Undergraduate Students Majoring in Science and Engineering in Japan," Sustainability, vol. 14, no. 5, pp. 2988, 2022, doi: 10.3390/su14052988.

[7] D.S. Barcellos et al., "Sectoral priorities in the modernisation of engineering education in Brazil," European Journal of Engineering Education, vol. 49, no. 6, pp. 1288-1309, 2024, doi: 10.1080/03043797.2024.2405109.

[8] S. Elder, H. Wittman, and A. Giang, "Building sustainability research competencies through scaffolded pathways for undergraduate research experience," Elem Sci Anth, vol. 11, no. 1, art. 00091, 2023, doi: 10.1525/elementa.2022.00091.

[9] T. Polk, "Enhancing the Writing Competencies of Undergraduate Researchers," Scholarship and Practice of Undergraduate Research, vol. 8, no. 1, pp. 26-32, 2024, doi: 10.18833/spur/8/1/3.

[10] Y. Zhao, H. Dong, and X. Zhang, "Fostering Technical and Sustainability Competencies Through an Integrated PBL Approach in an Undergraduate Mechanical Vibration Course," Sustainability, vol. 18, no. 5, pp. 2660, 2026, doi: 10.3390/su18052660.

[11] V.R. Levesque and N.T. Blackstone, "Exploring Undergraduate Attainment of Sustainability Competencies," Sustainability, vol. 13, no. 1, pp. 32-38, 2020, doi: 10.1089/sus.2019.0022.

[12] R.R. Hermann, M. Bonzanini Bossle, M.A. Aleixo Costa, and D.M. Neutzling, "Education for sustainable development goals through service learning: a university-community collaboration in northeast Brazil," International Journal of Sustainability in Higher Education, 2025, doi: 10.1108/IJSHE-11-2024-0776.

[13] G. Barrera-Verdugo, J. Cadena-Echeverría, D. Durán-Sandoval, and A. Villarroel-Villarroel, "Deepening gender differences in self-efficacy and sustainable entrepreneurial intentions among Business and Engineering students of Generation Z," The International Journal of Management Education, vol. 23, no. 2, art. 101186, 2025, doi: 10.1016/j.ijme.2025.101186.

[14] C. Dagar, "Embedding Sustainability Competencies in Renewable Energy Engineering Curricula: A Gap Analysis of UNSW SOLAAH and SOLABH Programs against the Planetary Boundaries Framework," International Journal of Scientific Engineering and Research, pp. 104-108, 2026, doi: 10.70729/se26622205629.

[15] Y. Hsiao, M. Lo, C. Lin, and H. Lin, "Portfolio of Intangible Investments and Production and Innovation Performance: Evidence from Taiwanese Manufacturing Firms," Asian Economic Journal, vol. 35, no. 4, pp. 345-362, 2021, doi: 10.1111/asej.12254.

[16] P.E. Alonso-Galicia, J.C. Vázquez-Parra, I.M. Castillo-Martínez, and M.S. Ramírez-Montoya, "Complex thinking as a component in entrepreneurship education and engineering classes: an empirical study," Journal of International Education in Business, vol. 18, no. 2, pp. 218-233, 2025, doi: 10.1108/JIEB-08-2024-0101.

[17] L.I.V. Zapata et al., "Digital Entrepreneurship Profiles and Quality of Life in University Students from Northern Peru," Journal of Educational and Social Research, vol. 14, no. 3, pp. 103, 2024, doi: 10.36941/jesr-2024-0059.

[18] J. Tóth, G. Migliore, J.M. Balogh, and G. Rizzo, "Exploring Innovation Adoption Behavior for Sustainable Development: The Case of Hungarian

Food Sector," Agronomy, vol. 10, no. 4, pp. 612, 2020, doi: 10.3390/agronomy10040612.

[19] L. Dewiyani et al., "Eco-innovation and green entrepreneurship: Transforming challenges into opportunities for the environment," Cleaner Environmental Systems, vol. 19, art. 100345, 2025, doi: 10.1016/j.cesys.2025.100345.

[20] R. Rojas, G.I.B. Jaimes, C.A.P. Gómez, D.M. Ramírez Osorio, and D.C. Rubiano Rios, "Assessing Social Entrepreneurship Competencies in Higher Education," Journal of Social Entrepreneurship, vol. 16, no. 3, pp. 1463-1480, 2025, doi: 10.1080/19420676.2023.2301029.

[21] I. Alvarez-Icaza, J. Miranda, A. Martínez-Arboleda, P. Suárez-Brito, and M. Ramírez-Montoya, "Driving complex thinking and technological entrepreneurship with artificial intelligence: a mixed methods study," Sustainable Futures, vol. 10, art. 101312, 2025, doi: 10.1016/j.sftr.2025.101312.

[22] M. Czyżewska, E. Szczygieł, G. Tsaples, D.B. Manou, and J. Papathanasiou, "The Future of Sustainable Entrepreneurship: Youth Perspectives in Greece and Poland," Sustainability, vol. 17, no. 11, pp. 5226, 2025, doi: 10.3390/su17115226.

[23] C.C. Chang and P.D.T. Nguyen, "How Does Technological Crowding Affect Exploratory Innovation? Considering the Moderating Role of Technological Superiority," IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 71, pp. 15390-15404, 2024, doi: 10.1109/TEM.2024.3485235.

[24] M. Antúnez-Riveros et al., "Análisis documental de los perfiles de egreso vigentes de las carreras de Fisioterapia en Chile," Fisioterapia, vol. 45, no. 1, pp. 20-29, 2023, doi: 10.1016/j.ft.2022.02.004.

[25] M. Alfarizi, N. Ngatindriatun, and Y.W. Firmansyah, "Green nexus womenpreneurs: harnessing internal-external capabilities for sustainable MSMEs fashion," Research Journal of Textile and Apparel, vol. 29, no. 4, pp. 957-978, 2025, doi: 10.1108/RJTA-05-2024-0067.

[26] O.M. Egere, G. Maas, and P. Jones, "Assessing the impact of MSMEs entrepreneurial competency on transformational entrepreneurship in a developing economy," Entrepreneurship & Regional Development, vol. 37, no. 9-10, pp. 1365-1384, 2025, doi: 10.1080/08985626.2025.2515288.

[27] C. Alcantar-Nieblas, L.D. Glasserman-Morales, and J.C. Vázquez-Parra, "Psychometric properties of a scale to measure social entrepreneurship competency in Mexican university students," On the Horizon: The International Journal of Learning Futures, vol. 32, no. 4, pp. 178-187, 2024, doi: 10.1108/OTH-05-2023-0019.

[28] T. Duarte da Costa, P.T. Candido de Oliveira Salvador, C. Orlandi Brilinger, F.J. Silva dos Santos, and S. Silveira de Amorim Pereira, "Levels of Entrepreneurial Tendency and of Interpersonal Communication Competence of Students in an Associate Degree in Hospital Management Course," O Mundo da Saúde, vol. 47, 2023, doi: 10.15343/0104-7809.202347e14072022I.

[29] H.P. Adjimah et al., "Unveiling how entrepreneurship education components shape green entrepreneurship intentions through personal values and environmental concerns," Sustainable Futures, vol. 11, art. 101815, 2026, doi: 10.1016/j.sftr.2026.101815.

[30] J.M. Torres Ortega, J.X. Márquez Carrascal, and A.L. Blanco Troncoso, "Developing Entrepreneurial Capabilities with Large Language Models: A Mixed-Methods Analysis of Microenterprise Training in Barranquilla's Business Ecosystem," Journal of Educational and Social Research, vol. 15, no. 1, pp. 16, 2025, doi: 10.36941/jesr-2025-0002.

[31] S. Bouallegue, H. Rahali, A.K. Nefzi, and J. Lichy, "Innovative pathways to sustainable community development through youth entrepreneurship," Asian Education and Development Studies, pp. 1-24, 2026, doi: 10.1108/AEDS-10-2025-0517.

[32] Y. Yuan, A. Ren, K. Huang, S. Zhao, and X. Chen, "Confounding by gender and academic year masks null effects of a Cooperative Training Community framework on undergraduate research outcomes: a mixed-methods study," BMC Medical Education, vol. 26, no. 1, art. 888, 2026, doi: 10.1186/s12909-026-09194-8.

[33] E.C.S. Ku, "Collaborating with ChatGPT Knowledge to Improve Service Performance : AI Knowledge for Service Performance," 2025 5th International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), pp. 1-4, 2025, doi: 10.1109/ICECET63943.2025.11472354.

[34] S.S. Freiha, N. El-Bayaa, L. Raimi, and J.L.J. Mawad, "Education, social influence, and green entrepreneurship in Lebanon," Discover Sustainability, vol. 7, no. 1, art. 647, 2026, doi: 10.1007/s43621-026-02903-9.

[35] S. Kaur and R.K. Panda, "Green Minds in Business," Advances in Logistics, Operations, and Management Science, pp. 97-124, 2024, doi: 10.4018/979-8-3693-7442-9.ch004.

[36] J.C. Vázquez-Parra, F.A. Mora-Dávila, E. Cruz-Valdivieso, S. Leetoy, and D.S. Mayoral Bonilla, "Short-Term Transformative Learning Activation in Higher Education: The Impact of an Intensive Social Entrepreneurship Program on an Ashoka U Changemaker Campus," Administrative Sciences, vol. 16, no. 1, pp. 52, 2026, doi: 10.3390/admsci16010052.

[37] J.C. Vázquez-Parra, C. Henao-Rodríguez, and J.P. Lis-Gutiérrez, "Statistical validation of the social entrepreneurship profile instrument," Social Enterprise Journal, pp. 1-20, 2026, doi: 10.1108/SEJ-03-2025-0057.

[38] C.E. George-Reyes, A.S. De la Cruz Padilla, and E.O. López-Caudana, "Innovación educativa y emprendimiento científico en universidades de América Latina: Guatemala, Colombia y México.," Revista Fuentes, vol. 3, no. 27, pp. 326-342, 2025, doi: 10.12795/revistafuentes.2025.27132.

[39] B. Hagmaier, "Sustainable Entrepreneurs as Change Agents: Relevant Key Competencies for Sustainability," Reinvention: an International Journal of Undergraduate Research, vol. 12, no. 1, 2019, doi: 10.31273/reinvention.v12i1.431.

[40] N. Riazifar and H. Khajehsaeid, "Enhancing Engineering Education through Problem-based Learning," UK and Ireland Engineering Education Research Network Conference Proceedings 2023, 2024, doi: 10.31273/10.31273/9781911675167/1636.