

Compromiso ambiental en estudiantes de ingeniería: diagnóstico y propuesta de intervención pedagógica basada en auditoría ambiental en el Instituto Tecnológico de Delicias

Saúl Acosta Nájera¹, Ofelia Teresa Bejarano Urrutia², Jorge Iván Armendáriz Bejarano³, Saúl Acosta Mariñelarena⁴

Departamento de Metalmecánica, Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Delicias¹⁻²,

Departamento de Sistemas, Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Delicias³

Departamento de Mecánica, Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Chihuahua⁴

Resumen. Que los estudiantes de ingeniería reciban formación en desarrollo sustentable no es suficiente si esa formación no se traduce en comportamiento ambiental concreto. Este trabajo cuantifica esa brecha en el Instituto Tecnológico de Delicias, México, y propone un protocolo de intervención basado en auditoría ambiental estudiantil. Se aplicó una encuesta a 196 estudiantes de seis programas de ingeniería que evaluó conocimiento conceptual, comportamiento ambiental cotidiano y participación mediante 20 ítems con escalas dicotómica y Likert. Se construyó además un Índice de Compromiso Ambiental (ICA) que integra las tres dimensiones en una escala normalizada de 0 a 100. El conocimiento conceptual promedia 73.7% de aciertos; el comportamiento cotidiano y la participación muestran valores moderados (ICA global = 66.4/100). La correlación de Spearman entre conocimiento y comportamiento es débil ($\rho = 0.157$, $p = .028$) y entre conocimiento y participación no es estadísticamente significativa. Con base en los resultados, se propone un protocolo de Auditoría Ambiental Estudiantil (AAE) como herramienta pedagógica activa que conecta los contenidos curriculares de sustentabilidad con indicadores técnicos medibles: generación de residuos, consumo energético y huella hídrica a nivel de campus. La AAE opera como dispositivo de aprendizaje experiencial con criterios verificables, respondiendo al déficit de implementación práctica identificado.

Palabras clave: auditoría ambiental estudiantil, comportamiento proambiental, compromiso ambiental, desarrollo sustentable, educación en ingeniería

ABSTRACT: Providing engineering students with sustainable development training is not enough if that training does not translate into concrete environmental behavior. This paper quantifies that gap at the Instituto Tecnológico de Delicias, Mexico, and proposes a student environmental audit protocol as a pedagogical intervention. A survey was administered to 196 students across six engineering programs assessing conceptual knowledge, everyday environmental behavior, and active participation through 20 items with dichotomous and Likert scales. An Environmental Commitment Index (ECI) integrating all three dimensions on a normalized 0-100 scale was also constructed. Conceptual knowledge averages 73.7% correct responses; everyday behavior and participation show moderate values (global ECI = 66.4/100). The Spearman correlation between knowledge and behavior is weak ($\rho = 0.157$, $p = .028$) and between knowledge and participation is not statistically significant. Based on the findings, a Student Environmental Audit (SEA) protocol is proposed as an active pedagogical tool that connects sustainability curriculum content with measurable technical indicators: waste generation, energy consumption, and water footprint at campus level. The SEA functions as an experiential learning device with verifiable criteria, addressing the practical implementation deficit identified in the study.

KEYWORDS: Environmental commitment, engineering education, student environmental audit, pro-environmental behavior, Environmental Commitment Index

Received 02 May., 2026; Revised 10 May., 2026; Accepted 12 May., 2026 © The author(s) 2026.

Published with open access at www.questjournals.org

I. INTRODUCTION

La ingeniería tiene una relación directa con el deterioro ambiental: los procesos industriales, la gestión de residuos, el consumo energético y la huella hídrica de las organizaciones productivas son, en buena medida, resultado de decisiones técnicas. Por eso la formación de ingenieros en desarrollo sustentable no es un complemento curricular accesorio, sino una necesidad del oficio. Lo que vale la pena preguntarse, y lo que rara vez se mide con datos propios, es qué ocurre con esa formación una vez que sale del aula.

La Agenda 2030 estableció metas concretas para el ODS 4 (educación de calidad), el ODS 7 (energía), el ODS 12 (producción y consumo responsables) y el ODS 13 (acción climática), todos con resonancia directa en la formación de ingenieros (ONU, 2015). En México, el Tecnológico Nacional de México incorporó la sustentabilidad como eje transversal en sus planes de estudio, y el Instituto Tecnológico de Delicias (ITD) ofrece seis programas de ingeniería: Industrial, Electromecánica, Sistemas Computacionales, Gestión Empresarial, Energías Renovables e Ingeniería Civil. Lo que no estaba documentado era si el aprendizaje declarado se refleja en actitudes y conductas concretas, ni cuál es la magnitud real de la brecha entre saber y actuar.

Investigaciones recientes en instituciones de educación superior latinoamericanas confirman que esa brecha existe y es sistemática. Blanco et al. (2024) encontraron que estudiantes universitarios con alta puntuación en competencias ambientales cognitivas registraban comportamientos proambientales moderados, en especial en conductas que requieren cambios estructurales del entorno, como la gestión de residuos o la movilidad sostenible. Rieckmann (2018) argumenta que la educación para la sostenibilidad en ingeniería debe operar sobre tres competencias simultáneas: sistémica, anticipatoria y de acción. Los programas que solo desarrollan la primera generan el patrón de diagnóstico sin acción que este estudio verifica en el IT Delicias.

En este mismo contexto institucional, Bejarano-Urrutia et al. (2025) propusieron una serie de quince prácticas ambientales organizadas en ejes ecológico, social y tecnológico para la asignatura Desarrollo Sustentable del TecNM, documentando que la Reserva Ecológica Semiárida del campus constituye un laboratorio natural de aprendizaje con potencial formativo directo. Esa propuesta refuerza la necesidad de contar con instrumentos de diagnóstico que midan el punto de partida real antes de implementar cualquier intervención.

El contexto institucional del ITD plantea un segundo problema que agrava la brecha saber-actuar: la retención estudiantil. Gutiérrez-Escajeda et al. (2024) documentaron un índice de deserción del 28% en los estudiantes de primer semestre durante el semestre enero-junio de 2024, con el 75% de los desertores correspondiendo a hombres. La causa principal identificada fue la falta de vocación, presente en el 38% de los casos. Este dato es relevante para el diseño de intervenciones ambientales: una población estudiantil con incertidumbre vocacional elevada y alta tasa de abandono temprano no consolidará compromisos proambientales mediante cursos teóricos. Se requieren estrategias que conecten el aprendizaje con la experiencia directa en el entorno institucional, fortaleciendo tanto la identidad profesional como la responsabilidad ambiental desde el primer semestre.

La muestra de este estudio comprende 196 estudiantes de los seis programas, con una distribución que refleja la matrícula real: Electromecánica concentra el 44.9% (n = 88), seguida de Sistemas Computacionales (18.9%), Gestión Empresarial (16.8%), Civil (7.1%), Energías Renovables (6.6%) e Industrial (5.6%). El instrumento mide tres dimensiones: conocimiento conceptual (10 ítems dicotómicos), comportamiento ambiental cotidiano (5 ítems Likert) y participación en iniciativas ambientales (5 ítems Likert). Con esas tres dimensiones se construye además un Índice de Compromiso Ambiental (ICA) en escala de 0 a 100, lo que facilita la comparación institucional y la fijación de metas de mejora medibles.

El objetivo de este artículo es doble: (1) cuantificar el nivel de compromiso ambiental de los estudiantes del IT Delicias en sus tres dimensiones, y (2) proponer un protocolo de Auditoría Ambiental Estudiantil (AAE) como intervención pedagógica activa que conecta el conocimiento declarativo con la práctica técnica verificable.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Desarrollo sustentable y educación en ingeniería

El desarrollo sustentable, en su formulación más conocida, designa aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las propias (Brundtland, 1987). Esta definición encierra una tensión operativa que durante décadas ha desafiado tanto a los formuladores de políticas como a los sistemas educativos: cómo traducir un principio ético intergeneracional en criterios de diseño concretos que un ingeniero pueda aplicar en un proyecto real, con recursos limitados.

El marco de las tres dimensiones de la sustentabilidad, económica, social y ambiental, sigue siendo el eje organizador de la formación profesional en ingeniería. Kiran et al. (2025) argumentan que los egresados de ingeniería deben equilibrar desde el inicio de su carrera la eficiencia en costos, la responsabilidad ambiental y el impacto social, tres dimensiones que en los programas tradicionales se enseñan por separado. Para la práctica de la ingeniería, esto tiene una implicación directa: la viabilidad técnica de un proyecto no puede desligarse de su

viabilidad ecológica ni de su equidad distributiva. Waurzaszek et al. (2025), en una revisión sistemática de programas de ingeniería en quince países, confirmaron que los enfoques pedagógicos que integran las tres dimensiones simultáneamente producen competencias de sustentabilidad más sólidas que los que las abordan de manera secuencial.

La economía circular ha dejado de ser un tema de nicho en la formación de ingenieros para convertirse en criterio de diseño con regulaciones y normas técnicas asociadas. Renfors (2024), en una revisión de 22 programas de educación para la economía circular en instituciones de educación superior, documentó que la enseñanza puramente teórica no permite desarrollar las competencias necesarias para aplicar estos principios: se requieren entornos de aprendizaje versátiles que conecten la teoría con proyectos reales. Ho et al. (2024), con datos de cinco universidades en Asia-Pacífico, encontraron que la principal barrera para la transición circular no es la falta de actitud favorable sino la falta de conocimiento aplicado, un patrón que este estudio confirma en el IT Delicias: el 50.5% de aciertos en el ítem de economía circular no solo es el más bajo de toda la Dimensión A, sino que es transversal a los seis programas ($\chi^2 = 2.050$, $p = .842$).

La UNESCO (2022) ha diferenciado entre dos niveles de apropiación de la sustentabilidad en educación superior. El primero, más extendido, consiste en que los estudiantes conozcan los Objetivos de Desarrollo Sostenible y puedan nombrarlos. El segundo, mucho más exigente, implica integrarlos como criterios de diseño en la práctica profesional: calcular huellas de carbono, evaluar impactos hídricos, proponer alternativas de menor impacto. Esa brecha entre ambos niveles es exactamente lo que se observa en el IT Delicias.

En México, el TecNM actualizó en 2021 su modelo educativo adoptando un enfoque basado en competencias donde la sustentabilidad no aparece como asignatura aislada sino como eje transversal (TecNM, 2021). La intención es coherente. Lo que resulta más difícil de garantizar, y lo que este estudio intenta documentar, es si esa transversalidad declarada se materializa en competencias reales o si se diluye en el espacio entre el plan de estudios oficial y la práctica docente cotidiana.

2.2 La brecha saber-actuar en educación ambiental universitaria

La brecha entre conocimiento ambiental y conducta es uno de los problemas más documentados de la educación para la sostenibilidad. Ya que de manera consistente las personas rara vez modifican su comportamiento siguiendo un impulso puramente racional: aprender y comprender no es suficiente para inspirar un compromiso con la conducta sostenible. En estudiantes universitarios los enfoques transmisivos, donde el docente transfiere información y el estudiante la reciben, generan conocimiento declarativo sin traducción en acción. El resultado es un perfil de egresado que sabe diagnosticar el problema, pero no ha desarrollado la competencia para actuar en él.

Blanco et al. (2024), en un estudio con estudiantes universitarios colombianos, encontraron que las competencias ambientales cognitivas presentaban puntuaciones significativamente más altas que las conductuales, sobre todo en comportamientos que requieren infraestructura de apoyo: separación de residuos, uso de transporte alternativo, reducción de consumo energético en contextos compartidos. Esta disociación no es irracional: si el entorno físico e institucional no ofrece condiciones para actuar de manera sostenible, el conocimiento se convierte en virtud sin salida.

La brecha persiste por razones estructurales. Los contenidos de sustentabilidad se concentran en asignaturas específicas que se imparten desconectadas del resto de la formación técnica. Un estudiante de ingeniería electromecánica puede aprender a calcular la huella de carbono en una clase y al día siguiente diseñar un sistema industrial sin que nadie le pida integrar esa perspectiva. La sustentabilidad aparece como tema adicional, no como lente analítica que atraviesa toda la formación. A esto se suman barreras de infraestructura, campus sin sistemas de separación de residuos ni medición de consumo energético, lo que hace difícil que los estudiantes practiquen lo que aprenden.

Adeyemi (2025), en un estudio con estudiantes japoneses y nigerianos, encontró que la adquisición de conocimiento por sí sola es insuficiente para impulsar conductas sostenibles: se requieren estrategias de aprendizaje experiencial que mejoren el control conductual percibido y fortalezcan las presiones normativas dentro de las comunidades estudiantiles. Fang y O'Toole (2023) agregan que el aprendizaje experiencial, incluyendo evaluaciones de impacto ambiental y proyectos de campo, refuerza la responsabilidad ambiental de manera más efectiva que la instrucción en aula. La Auditoría Ambiental Estudiantil que este trabajo propone responde directamente a esa prescripción.

2.3 Teoría del Comportamiento Planificado y control conductual percibido

La Teoría del Comportamiento Planificado, aplicada al comportamiento ambiental, mantiene vigencia empírica. Correia et al. (2022), en un estudio con estudiantes universitarios portugueses, encontraron que la actitud y el conocimiento ambiental no tienen impacto significativo en la intención proambiental, mientras que la norma subjetiva y el control conductual percibido sí predicen conductas sostenibles. Este hallazgo, replicado

en múltiples contextos, apunta al mismo déficit: lo que falta no es información sobre sustentabilidad sino la experiencia de haber ejercido control sobre variables ambientales reales.

Lo que hace útil este marco para el diseño pedagógico es la asimetría en la modificabilidad de sus componentes. Las actitudes son relativamente estables y difíciles de cambiar mediante instrucción directa. Las normas subjetivas dependen de dinámicas sociales que trascienden el aula. En cambio, el control conductual percibido puede modificarse de manera sistemática a través de experiencias concretas de éxito. La participación activa en el pesaje de residuos, el cálculo de la huella de carbono o la medición del gasto hídrico en el campus permite al estudiante trascender el aprendizaje técnico para consolidar una seguridad en sus propias capacidades. En este sentido, la existencia de una infraestructura sostenible —basada en sistemas de separación y protocolos de eficiencia— actúa como un catalizador de las intenciones ecológicas, ya que fortalece la percepción de control sobre el impacto ambiental propio.

2.4 Auditoría ambiental como herramienta pedagógica

La norma ISO 14001:2015 define la auditoría ambiental como un proceso sistemático, documentado y verificable para evaluar objetivamente si el sistema de gestión ambiental de una organización cumple con los criterios establecidos. Trasladada al contexto educativo, esta herramienta adquiere una dimensión que va más allá de la evaluación: se convierte en un dispositivo de aprendizaje que integra diagnóstico, análisis, propuesta y comunicación de resultados.

DeVellis (2016) aporta fundamentos metodológicos para la medición del compromiso ambiental relevantes para este trabajo. Su teoría de construcción de escalas subraya la importancia de distinguir entre componentes latentes, actitudes y valores, y componentes observables, conductas y participación, a la hora de evaluar constructos complejos. El Índice de Compromiso Ambiental (ICA) que este estudio propone sigue estos principios: integra las tres dimensiones en una escala compuesta, pero mantiene la posibilidad de analizarlas por separado, lo que permite identificar con precisión dónde se concentra el déficit.

III. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque, diseño y muestra.

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo con diseño descriptivo-comparativo de corte transversal. El diseño transversal es el más adecuado para establecer líneas base institucionales, que es la función que este diagnóstico cumple.

La selección de la muestra siguió un criterio censal dentro de los grupos disponibles durante el período de recolección, entre enero y marzo de 2024. Se aplicó el instrumento a la totalidad de los estudiantes presentes en los grupos activos de los seis programas de ingeniería del IT Delicias. La muestra efectiva fue de $n = 196$ estudiantes, con una composición por sexo de 143 hombres (73.0%) y 53 mujeres (27.0%), proporciones que reflejan la matrícula real del instituto.

Programa	Hombres	Mujeres	Total	%
Electromecánica	79	9	88	44.9
Sistemas Computacionales	26	11	37	18.9
Gestión Empresarial	14	19	33	16.8
Civil	9	5	14	7.1
Energías Renovables	9	4	13	6.6
Industrial	6	5	11	5.6
Total	143	53	196	100.0

Tabla 1. Distribución de la muestra por programa de ingeniería y sexo ($n = 196$)

3.2 Instrumento de medición

El instrumento es una encuesta estructurada de 20 ítems organizada en tres dimensiones, siguiendo los principios de construcción de escalas para ciencias sociales establecidos por DeVellis (2016).

La Dimensión A (ítems 1-10) evalúa conocimiento conceptual mediante preguntas de opción múltiple con codificación dicotómica (1 = correcto, 0 = incorrecto). Los diez conceptos evaluados son: desarrollo sustentable, economía circular, energía no renovable, huella de carbono, sustentabilidad en manufactura, causa

del cambio climático, impacto de la deforestación, contaminación del agua, efectos del plástico en ecosistemas, y huella ecológica.

La Dimensión B (ítems 11-15) mide comportamiento ambiental cotidiano mediante una escala Likert de cinco puntos, donde 1 representa el comportamiento más favorable. Los ítems abordan: ahorro de energía eléctrica, reducción de consumo de agua, separación de residuos sólidos, reducción del uso de plásticos de un solo uso, y preferencia por medios de transporte de menor impacto ambiental.

La Dimensión C (ítems 16-20) evalúa participación en iniciativas ambientales. Los ítems incluyen: valoración de la importancia de la participación, asistencia a talleres o eventos ambientales, pertenencia a clubes ambientales, disposición al voluntariado ambiental, y percepción del papel del estudiante como agente de cambio.

3.3 Índice de Compromiso Ambiental (ICA)

Para integrar las tres dimensiones en un indicador único se construyó el Índice de Compromiso Ambiental (ICA) mediante la siguiente fórmula:

$$ICA = (ICA-C \times 0.33) + (ICA-B \times 0.33) + (ICA-P \times 0.34)$$

Donde ICA-C representa el porcentaje de aciertos en conocimiento conceptual; $ICA-B = ((5 - media_DB) / 4) \times 100$; e $ICA-P = ((5 - media_DC) / 4) \times 100$. La ponderación igualitaria de las tres dimensiones responde a que la literatura no ofrece evidencia concluyente sobre la superioridad de alguna dimensión como predictor del compromiso ambiental real.

La consistencia interna del instrumento se evaluó mediante el alfa de Cronbach. La subescala B obtuvo $\alpha = 0.635$, la subescala C $\alpha = 0.751$, y el instrumento integrado de 20 ítems $\alpha = 0.771$. Estos valores son aceptables para investigación descriptivo-comparativa según los criterios de DeVellis (2016).

3.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en tres niveles con IBM SPSS Statistics versión 25.0 (IBM Corp., 2017). El primer nivel consistió en estadística descriptiva. El segundo nivel abarcó comparaciones entre grupos mediante la prueba U de Mann-Whitney para comparaciones por sexo y ANOVA unidireccional con pruebas post-hoc de Tukey para comparaciones entre programas. El tercer nivel correspondió a correlaciones de Spearman entre las tres dimensiones del ICA. El nivel de significancia adoptado fue $\alpha = 0.05$.

IV. RESULTADOS

4.1 Conocimiento conceptual (Dimensión A)

El promedio global de aciertos en la Dimensión A es del 73.7%, con variaciones importantes entre ítems. Los conceptos mejor dominados son el cambio climático (83.7%), la huella ecológica (82.1%) y la contaminación del agua (81.6%), temas con amplia cobertura mediática y curricular. En el extremo opuesto se encuentran la economía circular (50.5%) y la sustentabilidad en manufactura (64.8%), precisamente los conceptos con mayor relevancia técnica directa para la práctica de la ingeniería.

Un 50.5% de aciertos en economía circular significa que prácticamente la mitad de los estudiantes no tiene claridad sobre un concepto que ha dejado de ser un tema de nicho para convertirse en criterio de diseño con regulaciones y normas técnicas asociadas. La prueba chi-cuadrado por programa arroja $\chi^2 = 2.050$, $p = .842$, lo que indica que la brecha es transversal: no hay ningún programa que destaque positivamente en este concepto.

Ítem (concepto evaluado)	% Aciertos
1. Desarrollo sustentable	78.6
2. Economía circular	50.5
3. Energía no renovable	76.0
4. Huella de carbono	71.4
5. Sustentabilidad en manufactura	64.8
6. Causa del cambio climático	83.7
7. Impacto de la deforestación	79.1

8. Contaminación del agua	81.6
9. Efectos del plástico en ecosistemas	75.5
10. Huella ecológica	82.1
Promedio global	73.7

Tabla 2. Porcentaje de aciertos por ítem de conocimiento conceptual (Dimensión A, n = 196)

4.2 Comportamiento ambiental cotidiano (Dimensión B)

El patrón de resultados en la Dimensión B revela una jerarquía informativa. El ahorro de energía eléctrica es la conducta más favorable (media = 1.75, DE = 0.89), con el 82.1% reportando apagar luces y equipos siempre o casi siempre. Le sigue la reducción del consumo de agua (65.8% favorable). En el extremo opuesto, con una distancia considerable respecto a los demás ítems, se encuentra la separación de residuos sólidos: solo el 30.6% la práctica regularmente.

Interpretar este resultado como evidencia de desinterés sería superficial. La clave analítica está en la infraestructura: apagar una luz no requiere ningún recurso adicional más allá del interruptor existente. Separar residuos, en cambio, requiere contenedores diferenciados accesibles, un sistema de recolección separada y una cadena de gestión que garantice que la separación en origen tenga sentido. Si el campus no ofrece estas condiciones, la conducta no es difícil: es inútil. Lo que los datos revelan es una barrera estructural, no una actitud negativa.

Ítem (comportamiento cotidiano)	Media	DE	% favorable (1-2)
11. Ahorro de energía eléctrica	1.75	0.89	82.1
12. Reducción de consumo de agua	2.12	1.02	65.8
13. Separación de residuos sólidos	3.03	1.24	30.6
14. Reducción del uso de plásticos de un solo uso	2.48	1.11	54.1
15. Preferencia por transporte de menor impacto	2.67	1.18	48.5
Dimensión B global	2.41	0.87	56.2

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de comportamiento ambiental cotidiano (Dimensión B, n = 196)

4.3 Participación en iniciativas ambientales (Dimensión C)

La Dimensión C contiene el resultado más revelador del estudio desde la perspectiva del diseño de intervenciones. El 79.1% de los estudiantes valora la participación en iniciativas ambientales, lo que indica que la disposición actitudinal existe. Sin embargo, esa disposición no se traduce en participación efectiva: el 70.9% raramente o nunca asiste a talleres o eventos ambientales en el campus, y apenas el 5.6% pertenece a algún club o grupo ambiental estudiantil.

La brecha más notable combina dos datos: el 79.1% que valora la participación y el 5.6% que efectivamente participa en un espacio organizado. No es que los estudiantes no quieran; es que no encuentran los canales institucionales adecuados. El 37.8% señala explícitamente que querría participar, pero no ha tenido la oportunidad. El 46.4% expresa disposición condicional al voluntariado ambiental. Estos números describen demanda latente no satisfecha por la oferta institucional actual.

Ítem (participación activa)	Media	DE	% alto involucramiento (1)
16. Valoración de importancia de la participación	1.89	0.92	79.1
17. Asistencia a talleres/eventos ambientales	3.41	1.08	8.2
18. Pertenencia a clubes o grupos ambientales	3.87	1.01	5.6
19. Disposición a voluntariado ambiental	2.54	1.14	46.4

20. Percepción como agente de cambio	2.29	1.07	58.7
Dimensión C global	2.80	0.84	39.6

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de participación en iniciativas ambientales (Dimensión C, n = 196)

El ICA global del IT Delicias es de 66.4/100 (DE = 10.3), con un rango individual de 41.6 a 88.2 puntos. Este valor representa un nivel moderado de compromiso ambiental: hay una base cognitiva razonablemente sólida, pero con déficits claros en las dimensiones más orientadas a la acción. El análisis comparativo entre programas no arroja diferencias estadísticamente significativas en el ICA global (ANOVA $F = 0.677$, $p = .642$), lo que indica que la brecha saber-actuar es un problema institucional, no disciplinar. Eso hace más factible una solución también institucional.

El análisis por sexo sí revela una diferencia significativa: las mujeres presentan un ICA promedio de 68.6 puntos frente a 65.3 de los hombres (Mann-Whitney U, $p = .035$). Esta diferencia no se concentra en la dimensión cognitiva sino en las de comportamiento y participación, patrón consistente con la literatura internacional sobre género y comportamiento proambiental (Blanco et al., 2024).

Programa	ICA-C	ICA-B	ICA-P	ICA Global
Electromecánica (n=88)	72.1	54.2	48.3	58.2
Sistemas Computacionales (n=37)	74.8	62.1	55.7	64.2
Gestión Empresarial (n=33)	75.3	65.4	60.1	66.9
Civil (n=14)	73.5	61.8	58.4	64.5
Energías Renovables (n=13)	76.9	67.3	61.8	68.6
Industrial (n=11)	70.2	58.6	52.1	60.3
Global (n=196)	73.7	58.2	52.4	66.4

Tabla 5. Índice de Compromiso Ambiental (ICA) por programa y dimension

4.5 Correlaciones entre dimensiones

Las correlaciones de Spearman entre las tres dimensiones confirman la predicción teórica central del estudio. La correlación entre comportamiento y participación es moderada y altamente significativa ($\rho = 0.444$, $p < .001$): quienes actúan de manera más sostenible en su vida cotidiana también tienden a participar más. En cambio, la correlación entre conocimiento y comportamiento es débil pero estadísticamente significativa ($\rho = 0.157$, $p = .028$), y la correlación entre conocimiento y participación no alcanza significancia estadística ($\rho = 0.115$, $p = .109$).

La implicación pedagógica es directa: el conocimiento factual sobre sustentabilidad no predice, en ninguna medida relevante, ni el comportamiento cotidiano ni la participación. La acción y la participación se predicen mejor entre sí que desde el conocimiento. Esto valida la hipótesis central del estudio y proporciona evidencia empírica local para la intervención propuesta.

V. DISCUSIÓN

Los resultados del IT Delicias reproducen el patrón que la literatura internacional predice para contextos de educación técnica superior. Que el 73.7% de aciertos en la Dimensión A coexista con un ICA global de 66.4/100, donde las dimensiones de comportamiento y participación arrastran el promedio hacia abajo, es exactamente lo que Blanco et al. (2024) describieron para estudiantes colombianos. Lo que este estudio aporta es la cuantificación de esa brecha en los seis programas simultáneamente de un instituto tecnológico mexicano, con un instrumento diseñado para ese propósito.

El patrón de correlaciones es la evidencia más contundente. Correia et al. (2022) ya habían documentado que la actitud y el conocimiento ambiental no tienen impacto significativo sobre la intención proambiental en estudiantes universitarios: son la norma subjetiva y el control conductual percibido los que predicen la conducta. Lo que se observa en el IT Delicias replica ese hallazgo: la correlación débil entre conocimiento y comportamiento ($\rho = 0.157$) y la ausencia de correlación significativa entre conocimiento y participación indican que la institución ha desarrollado la dimensión cognitiva pero no las restantes. Los estudiantes saben. No necesariamente actúan.

Vale detenerse en los dos ítems con peor desempeño cognitivo. La economía circular (50.5%) y la sustentabilidad en manufactura (64.8%) son los conceptos con mayor relevancia para el ejercicio profesional de la ingeniería contemporánea. Que sean los más débiles en el perfil cognitivo sugiere una desconexión entre los contenidos de las asignaturas de sustentabilidad y los contenidos técnicos de las asignaturas de especialidad. La sustentabilidad se enseña en su propio compartimento, pero no migra hacia el resto del plan de estudios. Esta misma desconexión fue identificada por Bejarano-Urrutia et al. (2025) al diagnosticar que la asignatura Desarrollo Sustentable del ITD es la única en el plan reticular que aborda directamente la educación ambiental, lo que limita la posibilidad de un aprendizaje transversal.

La distancia entre valorar la participación (79.1%) y participar efectivamente (5.6% en clubes) reproduce lo que Adeyemi (2025) documenta al estudiar la brecha entre conocimiento sostenible e intención de actuar: los estudiantes han desarrollado una dimensión sistémica pero no encuentran canales institucionales por los cuales expresarla. El 37.8% que señala querer participar sin haber tenido la oportunidad no representa desinterés: representa demanda insatisfecha. Uralovich et al. (2023) subrayan que la educación ambiental orientada a la acción, aquella que va más allá de la transmisión de información, requiere que las instituciones construyan esos canales activamente. Una institución que no los ofrece desperdicia capital humano ya motivado.

Este diagnóstico adquiere mayor urgencia cuando se considera el perfil de retención del ITD. Gutiérrez-Escajeda et al. (2024) documentaron que el 28% de los estudiantes de primer semestre abandonó sus estudios durante el ciclo enero-junio de 2024, siendo la falta de vocación la causa principal en el 38% de los casos. Un protocolo pedagógico como la AAE, que conecta el aprendizaje técnico con el impacto medible en el entorno inmediato, puede contribuir también a fortalecer la identidad profesional y el sentido de pertenencia institucional, dos factores que la literatura sobre deserción identifica como protectores frente al abandono temprano.

VI. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN: PROTOCOLO DE AUDITORÍA AMBIENTAL ESTUDIANTIL (AAE)

6.1 Fundamento técnico del protocolo

El protocolo de Auditoría Ambiental Estudiantil (AAE) toma como referencia el marco normativo de la ISO 14001:2015 y lo adapta al campus universitario en el contexto del TecNM. La adaptación pedagógica no reduce el rigor técnico; lo traduce en procedimientos ejecutables por estudiantes de ingeniería con formación metodológica básica, supervisados por docentes de las asignaturas de sustentabilidad o gestión ambiental. El resultado es un dispositivo que produce conocimiento técnico aplicado, evidencia ambiental verificable y competencias de acción.

El protocolo se organiza en tres módulos de medición, cada uno orientado a una de las tres brechas identificadas en el diagnóstico.

El Módulo 1, Gestión de Residuos Sólidos (MGRS), responde al hallazgo más preocupante de la Dimensión B: solo el 30.6% separa residuos regularmente. El módulo consiste en el pesaje semanal de residuos por tipo durante cuatro semanas consecutivas en un área del campus asignada a cada equipo. El indicador principal es la tasa de separación en origen. Si la infraestructura de separación es insuficiente, los datos del módulo lo demostrarán objetivamente, lo que constituye insumo para propuestas de mejora institucional.

El Módulo 2, Inventario de Consumo Energético (ICE), conecta el conocimiento sobre huella de carbono con la práctica técnica de medición. Los equipos realizan un inventario completo del equipamiento eléctrico instalado en su área asignada y calculan el consumo mensual en kWh, la intensidad energética por metro cuadrado, y la estimación de emisiones de CO₂ equivalente empleando el factor de emisión de la red eléctrica nacional (CFE, datos públicos).

El Módulo 3, Huella Hídrica Operacional (HHO), aborda la gestión del agua, especialmente relevante en Chihuahua, entidad con alta presión hídrica y municipios insertos en una región de agricultura intensiva. Los equipos miden el consumo de agua mediante lectura de medidores parciales o aforo de tiempos de flujo. El indicador resultante es la huella hídrica operacional en litros por estudiante por día, comparable con los parámetros de la CONAGUA para instalaciones educativas.

6.2 Implementación curricular

El protocolo AAE está diseñado para integrarse en las asignaturas existentes de Desarrollo Sustentable o Gestión Ambiental del TecNM, sin requerir la creación de nuevas materias. La integración curricular es condición necesaria para la sostenibilidad del protocolo: una actividad extracurricular depende de la disposición voluntaria de los participantes; una actividad curricular garantiza continuidad y evaluación sistemática.

La implementación se distribuye a lo largo de un semestre de 16 semanas. Las primeras dos semanas corresponden a la formación metodológica: fundamentos de la norma ISO 14001:2015 adaptados al contexto educativo, formación de equipos de cuatro estudiantes con asignación de un área del campus, y calibración de instrumentos y formatos de registro. De la semana 3 a la 6, los equipos realizan la recolección de datos de línea

base. Las semanas 7 a 10 corresponden al análisis de datos y cálculo de indicadores, comparados con valores de referencia técnica. Las semanas 11 a 14, los equipos diseñan propuestas de mejora con estimaciones cuantitativas de reducción. Las últimas dos semanas están dedicadas a la presentación ante autoridades institucionales.

6.3 Indicadores de evaluación del impacto pedagógico

La evaluación del impacto debe ser dual: pedagógica y técnico-ambiental. El componente pedagógico utiliza el ICA mediante un diseño pre-post con grupo de comparación. El indicador de efectividad es la diferencia ΔICA entre pre y post, comparada entre grupos de intervención y control. Un $\Delta ICA \geq 8$ puntos en las dimensiones B y C, sin regresión en la dimensión A, puede establecerse como criterio de efectividad mínima en la primera fase de implementación.

El componente técnico-ambiental se evalúa mediante los propios indicadores del protocolo: tasa de separación de residuos, intensidad energética por metro cuadrado y huella hídrica por estudiante. Estos indicadores son verificables con fuentes independientes, registros de consumo institucionales, facturas y mediciones físicas, lo que les otorga un nivel de objetividad que los autorreportes no pueden ofrecer.

VII. CONCLUSIONES

El ICA-C de 73.7% confirma que los estudiantes han internalizado un nivel razonablemente sólido de conocimiento conceptual sobre sustentabilidad. Pero tomado en contexto, junto con un ICA global de 66.4/100 que refleja comportamientos y participación más débiles, cuenta una historia diferente: la formación está generando conocimiento, pero no está cerrando el circuito hacia la acción. La correlación débil entre conocimiento y comportamiento ($\rho = 0.157$) y la ausencia de correlación significativa entre conocimiento y participación son el veredicto cuantitativo de un diseño curricular que privilegia la transmisión de información sobre el desarrollo de competencias de acción.

Tres hallazgos tienen implicaciones directas para la redirección pedagógica. El primero es el bajo desempeño en economía circular y sustentabilidad en manufactura, los conceptos más directamente vinculados con la práctica profesional. Que sean los peores evaluados indica que la integración entre contenidos de sustentabilidad y contenidos técnicos de cada especialidad sigue siendo superficial. El segundo es la brecha en separación de residuos: no refleja actitudes negativas sino barreras estructurales que no se resuelven con campañas de concienciación. El tercero es la demanda latente significativa: el 37.8% de los estudiantes quiere participar, pero no ha tenido la oportunidad.

La propuesta de Auditoría Ambiental Estudiantil (AAE) responde de manera articulada a los tres déficits identificados. El Módulo 1 genera evidencia que puede justificar mejoras en el sistema de separación de residuos. El Módulo 2 integra el conocimiento sobre huella de carbono con la competencia técnica de medición. El Módulo 3 conecta ese conocimiento con la gestión hídrica en un contexto geográfico de alta relevancia. La presentación final ante autoridades institucionales cierra el circuito que la educación tradicional deja abierto: el conocimiento se convierte en propuesta técnica con posibilidad de impacto real.

Este estudio tiene limitaciones que conviene reconocer. El diseño transversal no permite establecer relaciones causales. El autorreporte en las Dimensiones B y C está sujeto a sesgo de deseabilidad social. Y el instrumento, validado en el IT Delicias, requiere validación independiente en otros planteles del sistema del TecNM (Tecnológico Nacional de México) para poder generalizar los resultados.

Las líneas de investigación futura más relevantes incluyen: (1) la implementación piloto del protocolo AAE con medición pre-post del ICA; (2) la validación del instrumento ICA en una muestra ampliada de instituciones del TecNM; y (3) el análisis de los factores institucionales que moderan la relación entre formación en sustentabilidad y compromiso ambiental efectivo. Todas parten del mismo punto de partida que este trabajo establece: la brecha entre saber y actuar existe, puede medirse y puede reducirse.

RERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Aeyemi, O. (2025). Promoting SDGs through education: A Theory of Planned Behavior analysis of Japanese and Nigerian 3students' sustainability actions. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/sd.349>
- [2]. Bejarano-Urrutia, O. T., Gutiérrez-Escajeda, M. T., y Armendáriz-Bejarano, J. I. (2025). Las prácticas ambientales como estrategia para fortalecer el compromiso social en la formación profesional en ingeniería. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 8(4), 1-16. <https://doi.org/10.34188/bjaerv8n4-141>
- [3]. Blanco, M. A., Blanco, M. E., Vila-Hinojo, B. T., Guzmán-Rodríguez, R. L. de J., y Vilchez-Casas, L. (2024). Competencias ambientales de los estudiantes universitarios frente al cambio climático: hacia una nueva cultura ambiental. *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 12(2), 1-9. <https://doi.org/10.15649/2346030X.3162>
- [4]. Brundtland, G. H. (Ed.). (1987). *Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press. <https://www.brundtland.co.za/wp-content/uploads/2022/08/Brundtland-Report-1987-Our-Common-Future.pdf>
- [5]. Correia, E., Sousa, S., Viseu, C., y Leite, J. (2022). Using the theory of planned behavior to understand the students' pro-environmental behavior: a case-study in a Portuguese HEL. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(5), 1070-1087. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2021-0201>
- [6]. DeVellis, R. F. (2016). *Scale development: Theory and applications* (4a ed.). SAGE Publications.

- [7]. Fang, J., & O'Toole, J. (2023). Embedding sustainable development goals (SDGs) in an undergraduate business capstone project through an experiential learning approach: A qualitative analysis. *The International Journal of Management Education*, 21(1), 100749. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1472811722001513>
- [8]. Gutiérrez-Escajeda, M. T., Acosta-Rodríguez, M. A., Parada-Mata, N. A., y Peinado-López, P. M. (2024). Deserción escolar de estudiantes universitarios: Análisis semestral del índice y los factores causales. *Journal of Research in Humanities and Social Science*, 12(12), 111-116. <https://www.questjournals.org/jrhss/papers/vol12-issue12/1212111116.pdf>
- [9]. Ho, O., Iyer-Raniga, U., Sylva, K., Sivapalan, S., Dissanayaka, S. M., y Sadykova, C. (2024). Circular economy education: student feedback from five higher education institutions in the Asia Pacific. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2023-0292>
- [10]. IBM Corp. (2017). IBM SPSS Statistics for Windows, versión 25.0. IBM Corp.
- [11]. ISO 14001:2015. (2015). Environmental management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.
- [12]. Kiran, P., Minh Le, Q., Torti, I., Pham, V. T., y Dash, D. (2025). Blended learning approaches for engineering students: Embedding the triple bottom line in supply chain education. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 15(8), 6-16. <https://doi.org/10.3991/ijep.v15i8.59285>
- [13]. Organización de las Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Resolución A/RES/70/1). Asamblea General de las Naciones Unidas.
- [14]. Renfors, S. (2024). Education for the circular economy in higher education: an overview of the current state. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 25(9), 111-127. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2023-0270>
- [15]. Rieckmann, M. (2018) Learning to transform the world: Key competencies in Education for Sustainable Development. En Leicht, A., Heiss, J., Byun, W.J. (Eds.), *Issues and trends in Education for Sustainable Development*, UNESCO Publishing, 39-59.
- [16]. Tecnológico Nacional de México. (2021). Modelo educativo para el siglo XXI: Formación y desarrollo de competencias profesionales (2a ed.). TecNM. <http://www.dgest.gob.mx/director-general/modelo-educativo-para-el-siglo-xxi-formacion-y-desarrollo-de-competencias-profesionales-dp2>
- [17]. UNESCO. (2022). Transforming education for sustainable development: Progress report on greening education partnership. UNESCO.
- [18]. Uralovich, K. S., Toshmamatovich, T. U., Kubayevich, K. F., Sapaev, I. B., Saylaubaevna, S. S., Beknazarova, Z. F., y Khurramov, A. (2023). A primary factor in sustainable development and environmental sustainability is environmental education. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 21, 965-975.
- [19]. Waurzaszek, J., Pérez, R., Liang, T., y Collins, S. (2025). Developing a framework for sustainable engineering education through transformative learning principles. *Discover Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02146-0>