

Teaching AI Microethics in Higher Education

Mauricio Rojas-Contreras¹; Eliana Caterine Mojica Acevedo¹; Olga Liliana Rojas Contreras¹

¹Universidad de Pamplona, Colombia, {mrojas, elianamojica, olrojas}@unipamplona.edu.co

Abstract— *The growing ubiquity of artificial intelligence (AI) in critical sociotechnical systems imposes an inescapable responsibility on engineers, who make design decisions with profound ethical implications at the micro level. This article presents a critical review of the literature on teaching AI microethics in engineering education programs. Through a systematic analysis of academic publications, institutional guidelines, and corporate ethical frameworks, a significant gap is evidenced between the emerging consensus on key ethical principles—such as fairness, transparency, explainability, and accountability—and their effective pedagogical implementation in engineering curricula. The results reveal a lack of concrete educational strategies that transcend theoretical discussion and equip future engineers with practical competencies to address ethical dilemmas throughout the AI development lifecycle. It is concluded that it is imperative to reformulate curricula to incorporate applied ethics not as a supplement, but as a fundamental pillar of engineering education. This involves adopting responsible-by-design methodologies, the use of case studies, ethical impact matrices, and bias audit tools, to cultivate the critical judgment and moral sensitivity necessary for the development of trustworthy and human-centered AI.*

Keywords-- Artificial intelligence, AI ethics, AI microethics, AI macroethics, engineering education.

Enseñanza de la microética de la inteligencia artificial en educación superior

Mauricio Rojas-Contreras¹; Eliana Catherine Mojica Acevedo¹; Olga Liliana Rojas Contreras¹

¹Universidad de Pamplona, Colombia, {mrojas, elianamojica, olrojas}@unipamplona.edu.co

Resumen— La creciente ubicuidad de la inteligencia artificial (IA) en sistemas sociotécnicos críticos impone una responsabilidad ineludible a los ingenieros, quienes toman decisiones de diseño con profundas implicaciones éticas a nivel micro. Este artículo presenta una revisión crítica de la literatura sobre la enseñanza de la microética de la IA en los programas de educación en ingeniería. Mediante un análisis sistemático de publicaciones académicas, directrices institucionales y marcos éticos corporativos, se evidencia una brecha significativa entre el consenso emergente sobre principios éticos clave —como la equidad, la transparencia, la explicabilidad y la rendición de cuentas— y su implementación pedagógica efectiva en los currículos de ingeniería. Los resultados revelan una carencia de estrategias educativas concretas que trasciendan la discusión teórica y doten a los futuros ingenieros de competencias prácticas para abordar dilemas éticos en el ciclo de vida del desarrollo de la IA. Se concluye que es imperativo reformular los planes de estudio para incorporar la ética aplicada no como un complemento, sino como un pilar fundamental de la formación en ingeniería. Esto implica adoptar metodologías responsables desde el diseño, el uso de estudios de caso, matrices de impacto ético y herramientas de auditoría de sesgos, para cultivar el juicio crítico y la sensibilidad moral necesarios para el desarrollo de una IA confiable y centrada en el ser humano.

Palabras clave— Inteligencia artificial, Ética IA, microética IA, macroética IA, educación en ingeniería.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de la capacidad y aplicación de la Inteligencia Artificial (IA), impulsado notablemente desde 2023 [1], ha consolidado su posición como una tecnología transformadora con beneficios significativos. Sin embargo, esta expansión también ha puesto de manifiesto una profunda ambivalencia, detonando controversias y problemáticas en materia de sesgos algorítmicos, opacidad de los sistemas, sostenibilidad y privacidad de los datos [2], [3]. Esta dualidad ha motivado a organismos internacionales como la UNESCO [4], la Comisión Europea [5] y gobiernos nacionales [3] a promover una IA confiable y fundamentada en una perspectiva humanística.

En este contexto, el rol del ingeniero se vuelve absolutamente central [4]. Más allá de ser simples desarrolladores o programadores, los ingenieros son los arquitectos de los sistemas de IA que se implementan en entornos reales, físicos e industriales. No solo diseñan lo que la máquina hace, sino que definen los límites de lo que debería hacer [4]. Cada decisión de diseño, desde la selección de datos de entrenamiento hasta la definición de parámetros de un sistema de automatización, tiene un impacto directo y tangible [6]. Por ello, el ingeniero se convierte en un actor social, no solo técnico, cuya responsabilidad ética va mucho más allá de la simple validación funcional del sistema [4]. La formación de una conciencia crítica y una sólida base ética en estos profesionales no es un complemento, sino una necesidad

urgente para garantizar que la innovación tecnológica sea sostenible, justa y segura [6], [7].

Para abordar esta necesidad formativa, es crucial adoptar la distinción conceptual entre microética y macroética, propuesta por Joseph R. Herkert [3]. La macroética se orienta a la reflexión sobre los grandes impactos sociales del desarrollo tecnológico y la responsabilidad colectiva de la profesión [3]. En contraste, la microética, foco de este artículo, se ocupa de las cuestiones éticas que los ingenieros afrontan desde un plano individual en su práctica diaria [3]. Esto incluye la deliberación moral sobre la seguridad del público, la honradez, las obligaciones de lealtad, los conflictos de intereses y la responsabilidad sobre las consecuencias de un diseño específico [8]. Mientras la macroética debate sobre si un vehículo autónomo debe existir, la microética se pregunta cómo un ingeniero debe diseñar el algoritmo que toma una decisión en un escenario de accidente inevitable [9].

A pesar de la alta dinámica en el diseño de directrices éticas a nivel macro, como la Recomendación de la UNESCO [4] o la Ley de IA de la Unión Europea [5], estas iniciativas a menudo carecen de una estrategia educativa concreta y aplicada en la educación superior, particularmente en los estudios de ingeniería [3]. Esta carencia formativa dificulta la comprensión de los efectos controvertidos y ambivalentes de los sistemas sociotécnicos y disminuye el juicio crítico y la sensibilidad moral necesarios para una gestión justa y responsable [3]. La orientación de la investigación y la educación en IA hacia aspectos estrictamente técnicos ha ocasionado una "brecha epistemológica" que dificulta los análisis sobre las implicaciones éticas, morales y políticas de los sistemas artificiales [10].

En respuesta a esta brecha, esta revisión crítica examina la literatura existente sobre las estrategias pedagógicas para la enseñanza de la microética de la IA en los programas de ingeniería. El objetivo es analizar cómo las instituciones de educación superior están abordando el desafío de ir más allá de la instrucción técnica para cultivar el ethos y la personalidad moral de los futuros ingenieros [11]. Se busca identificar y evaluar enfoques que fomenten el desarrollo moral a través de "instrumentos intelectuales, como la reflexión, y competencias de interacción, como el diálogo o la deliberación"[11]. Esto implica la integración de metodologías activas como el Aprendizaje Basado en Problemas (PBL) y el Aprendizaje Basado en Retos (CBL) [12], así como el uso de estudios de caso que exponen a los estudiantes a dilemas éticos realistas y complejos [13], [14].

Este trabajo argumenta que la formación en microética es indispensable para vincular la racionalidad estratégica, propia

de la ingeniería, con una racionalidad discursiva y axiológica [3]. Al hacerlo, se fomenta una comprensión crítica de los fines de la tecnología y se prepara a los profesionales para un mundo donde no todo lo técnicamente posible es moralmente aceptable [15]. En las siguientes secciones, se presentan los aspectos metodológicos, seguida de los resultados de una revisión crítica, posteriormente se presenta la discusión detallada de las implicaciones de estos hallazgos para el diseño curricular en ingeniería y la formulación de políticas educativas que aspiren a una gobernanza ética y efectiva de la IA, finalizando con la sección de conclusiones de la investigación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar alcance al objetivo del estudio, se utilizó el enfoque multimétodo [16-17], en el cual se integraron los métodos de revisión crítica de literatura [18] y el método de triangulación hermenéutica [19-20] como se especifica en la figura 1.

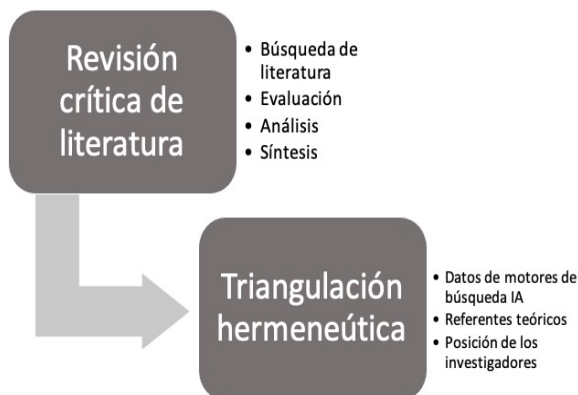


Fig. 1 Diseño metodológico-enfoque multimétodo

En forma específica, una revisión crítica se define como un examen de la literatura actualizada sobre un tema con el objetivo de sintetizar lo que se conoce y ofrecer nuevas perspectivas [21]. En contraste con las revisiones sistemáticas, las revisiones críticas no buscan revisar y agregar exhaustivamente hallazgos previos. Más bien buscan identificar y resumir hallazgos clave e integrarlos para proporcionar nuevas perspectivas teóricas [22]. En forma complementaria, el método de triangulación hermenéutica adaptado al uso de la IA y particularmente del uso de motores de búsqueda impulsados por IA complementados con superagentes de IA, tiene por alcance analizar los datos obtenidos de la búsqueda en los motores de IA, luego se compara con los referentes teóricos y la posición de los investigadores con el fin de potencializar el pensamiento crítico en este tipo de estudio.

A. Materiales

La investigación se soportó en la búsqueda realizada en los motores impulsados por IA como son SemanticScholar, Bohrium, Undermind, Answerthis; en forma complementaria, se recurrió a superagentes de IA como Manus, Skywork, GenSpark y Kortix. En cuanto a la generación de la ecuación de búsqueda utilizada en los motores impulsados por IA se utilizó el LLM Claude en su versión Sonnet 4.5.

B. Recopilación de datos

Los datos se recopilaban mediante el uso de los motores de búsqueda impulsados por IA SemanticScholar, Bohrium, Undermind, Answerthis, a los cuales se les alimentó con la siguiente ecuación de búsqueda generada con la ayuda del LLM Claude Sonnet 4.5:

("AI ethics" OR "artificial intelligence ethics") AND (microethics OR "professional ethics") AND ("engineering education") AND (teaching OR pedagogy))

Los motores impulsados por IA realizan el proceso de búsqueda en las bases de datos de mayor reconocimiento y credibilidad, en los repositorios de las mejores universidades del mundo y en los repositorios de preprints más reconocidos.

En forma complementaria, para soportar el proceso de triangulación hermenéutica se utilizaron los superagentes de IA Manus, Skywork, Genspark, Kortix, a los cuales se les solicitó que:

Genere un informe profundo y detallado acerca de la enseñanza de la microética de la Inteligencia artificial en programas de ingeniería con citas y referencias en formato IEEE.

C. Análisis hermenéutico

Los datos recopilados se analizaron utilizando el método de triangulación hermenéutica, el cual permitió tensar los datos recopilados a través de los motores de IA, con los informes generados por los superagentes de IA y los ejercicios de verificación y validación del conocimiento a través de la estrategia HITL (human-in-the-loop) permitiendo integrar la posición de los investigadores en el proceso de análisis.

III. RESULTADOS

El análisis de la literatura académica, informes institucionales y guías prácticas revela un consenso creciente sobre la urgencia de integrar la microética de la Inteligencia Artificial (IA) en la formación de ingenieros. Sin embargo, este consenso coexiste con una heterogeneidad significativa en cuanto a enfoques pedagógicos, contenidos curriculares y estrategias de implementación. Los resultados de esta revisión

se estructuran en cinco áreas temáticas clave que emergen del contenido analizado: los modelos pedagógicos predominantes, el uso de metodologías activas, los contenidos curriculares esenciales, el desarrollo de marcos de decisión y la influencia de la política y los estándares profesionales.

A. Modelos Pedagógicos: Del aislamiento a la Integración

La literatura evidencia una tensión fundamental entre dos modelos principales para la enseñanza de la ética en ingeniería: cursos independientes y la ética integrada en el currículo técnico [23-24]. Los cursos independientes, a menudo ofrecidos como asignaturas electivas, permiten una inmersión profunda en teorías y marcos éticos, comunicando que la ética es una disciplina por derecho propio [3]. Universidades como la de Washington y la de Texas en Austin han implementado cursos electivos específicos sobre ética en IA, cubriendo desde implicaciones en el diseño hasta soluciones técnicas para mitigar riesgos [24].

No obstante, una crítica recurrente a este modelo es que puede transmitir el mensaje de que la ética es un componente secundario o desconectado de la práctica ingenieril [24]. Investigaciones sobre la percepción estudiantil refuerzan esta preocupación, mostrando que los estudiantes de ingeniería demandan una conexión más clara entre la ética y su futura práctica profesional, y critican la desconexión entre las asignaturas técnicas y las de desarrollo humano [25]. Un estudiante señaló: "Considero que es muy importante aprender sobre ética profesional ya que en la universidad solo se enseña lo que es más importante dejando de lado la ética" [25].

En respuesta, emerge con fuerza la propuesta de una integración transversal, donde los dilemas éticos se abordan directamente en las materias técnicas [23-25]. Los estudiantes sugieren que los profesores de ingeniería deberían incorporar discusiones sobre problemas éticos relacionados con sus materias y cómo actuar ante ellos [23]. A pesar de los avances en esta dirección, la revisión constata que aún no existe un modelo validado y universalmente aceptado para la toma de decisiones éticas diseñado específicamente para educadores y estudiantes de ingeniería [25], lo que representa una brecha significativa en el campo.

B. Metodologías Activas y Enfoques Prácticos

Independientemente del modelo pedagógico, existe un amplio acuerdo en que la enseñanza de la microética de la IA debe basarse en metodologías activas que fomenten el aprendizaje práctico y el desarrollo de habilidades [25-26]. El aprendizaje basado en el análisis de casos es la técnica más citada y valorada [23], [25], [27]. Los estudiantes reclaman explícitamente "exponiendo más casos reales" y "leyendo casos de situaciones lamentables" para desarrollar un sentido de responsabilidad más fuerte [25]. Ejemplos como el dilema del tranvía en vehículos autónomos [28] o el caso de la herramienta de contratación sesgada de Amazon [28] son

recurrentemente utilizados para ilustrar conflictos de valores y sesgos algorítmicos.

Otras metodologías activas recomendadas incluyen el Aprendizaje Basado en Problemas (PBL), el Aprendizaje Basado en Retos (CBL) y el Aprendizaje Orientado a Problemas (POL) como vehículos para adoptar la IA de manera crítica [12]. La implementación de proyectos prácticos, ensayos y presentaciones grupales sobre temas éticos específicos permite a los estudiantes aplicar herramientas conceptuales a escenarios concretos, desarrollando su capacidad de análisis ético en pocas semanas [3].

La importancia de la práctica se extiende a la necesidad de que los estudiantes interactúen directamente con las herramientas de IA para comprender sus limitaciones. Se propone modelar el uso apropiado de la IA como una herramienta de resolución de problemas, incluyendo demostraciones de cuándo proporciona información "incorrecta" o "inexacta" [29]. Guías pedagógicas, incluso para niveles preuniversitarios, proponen proyectos prácticos como "Lo justo es justo", donde los estudiantes exploran la equidad y la calidad de los datos de entrenamiento, sentando las bases para una comprensión crítica de la IA [30].

C. Contenidos Curriculares para la Microética de la IA

La revisión sistemática de la literatura permite identificar un núcleo de contenidos considerados indispensables para la formación en microética de la IA. Un estudio que analizó 20 artículos académicos encontró que las categorías más recurrentes de desafíos éticos eran la regulación (90% de los artículos), el rol del docente y la responsabilidad institucional (80% cada una), la integridad académica (65%) y la educación ética (75%) [22].

A nivel de temas específicos, los currículos y propuestas formativas se centran en:

- **Sesgo y Equidad:** Es uno de los temas más transversales, abordando cómo los datos de entrenamiento sesgados pueden perpetuar y amplificar desigualdades sociales [3], [31-32]. Se subraya la necesidad de que los ingenieros aprendan a identificar, auditar y mitigar sesgos en los datos y algoritmos [31], [33].
- **Transparencia y Explicabilidad:** La opacidad de los modelos de "caja negra" es una preocupación central. Los ingenieros deben ser capaces de desarrollar y documentar sistemas cuyos procesos de decisión sean comprensibles y auditables [3], [31], [33].
- **Responsabilidad y Rendición de Cuentas:** Implica definir quién es responsable de las decisiones y errores de los sistemas de IA [31]. Esto requiere establecer líneas claras de supervisión humana y mecanismos de auditoría [33].
- **Privacidad y Protección de Datos:** La recopilación masiva de datos exige un conocimiento profundo de la normativa vigente y de prácticas como la anonimización y la minimización de datos para proteger a los usuarios [6], [32].

- Seguridad y Fiabilidad: Asegurar que los sistemas de IA funcionen de manera robusta y segura, especialmente en aplicaciones críticas [3].

Más allá de estos temas técnicos, se aboga por la inclusión de perspectivas críticas que desafíen la aparente neutralidad de la tecnología. Por ejemplo, la epistemología feminista de datos se propone como un marco para que los estudiantes comprendan que los datos no son neutrales, sino el producto de relaciones sociales desiguales, y que su recopilación y etiquetado reflejan dinámicas de poder [34]. Esta visión crítica es fundamental para formar ingenieros que no solo sean competentes técnicamente, sino también agentes de cambio ético [34].

D. Marcos de Decisión Ética y Competencias Clave

El objetivo final de la enseñanza de la microética no es memorizar un código, sino desarrollar el "pensamiento ético" como una habilidad o un "músculo que se puede ejercitar" [3]. Para ello, se proponen marcos de decisión y el desarrollo de competencias específicas. Los objetivos de aprendizaje para un curso de ética de la IA incluyen la capacidad de: 1) identificar problemas éticos en casos de uso de IA; 2) aplicar conceptos de ética normativa (deberes, virtudes, justicia); 3) identificar a las partes interesadas (stakeholders) y sus valores; y 4) aplicar marcos generales para la toma de decisiones éticas [3].

La industria ofrece una visión clara de las competencias prácticas requeridas. Las mejores prácticas incluyen la realización de análisis de impacto ético desde la fase de diseño, la auditoría de datos para garantizar su representatividad, la exigencia de explicabilidad técnica, el diseño de sistemas con supervisión humana constante (human-in-the-loop), y el mantenimiento ético post-implementación para revisar sesgos y reentrenar modelos [33]. Estas prácticas deben traducirse en competencias que los programas de ingeniería cultiven en sus estudiantes.

La literatura subraya que los marcos de decisión deben ser "específicos, máximamente útiles y accesibles" para los estudiantes de ingeniería [25]. Esto implica ir más allá de la teoría y proporcionar herramientas operativas que puedan integrarse en el ciclo de vida del desarrollo de software y sistemas de IA [35].

E. El Rol de la Política y los Estándares en el Currículo

Una tendencia emergente es la necesidad de una "educación en ética de la IA orientada a políticas" [23]. Este enfoque argumenta que, para que la ética sea operativa, los ingenieros deben comprender y saber utilizar recursos como leyes, directivas y estándares (ej. Recomendación sobre la Ética de la IA de la UNESCO [4], estándares IEEE [23]). La formación debe capacitar a los futuros profesionales para integrar las dimensiones políticas y regulatorias en el diseño de sistemas de IA [22].

Se critica que iniciativas políticas, como las de la Comisión Europea, aunque meritorias en su objetivo de promover una IA confiable y centrada en el ser humano, a menudo carecen de una estrategia educativa específica que las acompañe [23]. Esta carencia dificulta el cultivo de la reflexividad moral y la responsabilidad profesional. Por tanto, se insta a que los planes de estudio de ingeniería asuman un rol activo en llenar este vacío, formando profesionales capaces no solo de cumplir con la regulación existente, sino de participar activamente en la formulación de futuras políticas y estándares [22], [23].

Esto implica expandir la noción tradicional de responsabilidad profesional, que a menudo se ha centrado en cuestiones microéticas (decisiones individuales del ingeniero), hacia una comprensión de la responsabilidad social colectiva y el impacto macroético de la tecnología [22], [23]. La formación debe, por tanto, fomentar un ethos "cordial, dialógico, inclusivo y crítico" [23] que prepare a los ingenieros para los complejos desafíos sociotécnicos de la era de la IA.

IV. DISCUSIÓN

El análisis de la literatura revela un panorama complejo y multifacético en la enseñanza de la microética de la Inteligencia Artificial (IA) en los programas de ingeniería. Los hallazgos subrayan una tensión fundamental entre la necesidad de una formación ética robusta y las metodologías pedagógicas empleadas para impartirla. Esta sección discute las implicaciones de estos hallazgos, contrastándolos con la literatura existente y proponiendo una reflexión crítica sobre los desafíos y oportunidades para la educación en ingeniería. Se abordan cuatro ejes principales: la persistente brecha entre la teoría y la práctica, el desafío de diseñar estrategias pedagógicas efectivas, la necesidad de un enfoque sistémico que involucre la integración curricular y la formación docente, y las nuevas fronteras que la IA generativa (IAGen) impone a la responsabilidad microética del ingeniero.

A. La Brecha entre la Teoría y la Práctica: Una Demanda Estudiantil Persistente

Uno de los hallazgos más consistentes, tanto en la literatura general sobre ética en ingeniería como en los estudios emergentes sobre IA, es la percepción estudiantil de una desconexión entre la formación ética y la práctica profesional [36]. Los estudiantes de ingeniería demandan que la enseñanza de la ética trascienda el plano teórico y se ancle en la realidad de su futura profesión. Como lo demuestra el estudio de Páez Michel [36], los estudiantes reclaman la incorporación de "actividades prácticas", "casos reales" y la aplicación de conceptos éticos a "situaciones laborales con implicaciones éticas". Esta demanda no es nueva; autores como Lozano [37] y Vázquez [38] ya señalaban la necesidad de transformar la instrucción en ingeniería hacia metodologías activas, como el aprendizaje basado en problemas y el análisis

de casos, que reflejen el carácter intrínsecamente práctico de la disciplina.

La percepción de que la ética es una asignatura secundaria o "blanda" en comparación con las materias "esenciales" de carácter técnico persiste [36]. Este hallazgo sugiere que la simple inclusión de un curso de ética en el currículo es insuficiente si no se logra una integración significativa. Los estudiantes solicitan que los temas éticos se plasmen en las materias de ingeniería y que los profesores de asignaturas técnicas discutan los conflictos éticos relacionados con sus disciplinas [36]. Esto indica que la responsabilidad de la formación ética no puede recaer exclusivamente en los departamentos de humanidades o ciencias sociales, sino que debe ser una responsabilidad compartida en toda la facultad de ingeniería.

B. El Desafío Pedagógico: Más Allá del Estudio de Casos Simplificado

Si bien el estudio de casos se presenta como la técnica pedagógica clave para conectar la ética con la práctica [36-38], la literatura advierte sobre los riesgos de una aplicación simplista. Bucciarelli [39] critica que muchos casos éticos utilizados en ingeniería, aunque incluyen hechos técnicos, minimizan u omiten la naturaleza social y colaborativa del trabajo del ingeniero. Al centrarse exclusivamente en el dilema de un individuo, se crea una abstracción que no representa la realidad de la toma de decisiones en equipo, donde ingenieros interactúan con profesionales de diversas disciplinas [40].

Esta crítica lleva directamente al núcleo de la distinción entre microética y macroética. Como señala Painter [40], centrar la enseñanza únicamente en la toma de decisiones del individuo (microética) es una limitación significativa. Si bien es fundamental que los ingenieros puedan identificar y resolver dilemas personales, también deben estar preparados para analizar y responsabilizarse de las decisiones colectivas que tienen un impacto social más amplio (macroética). En este sentido, la formación ética no debe reducirse a la simple internalización de códigos deontológicos existentes. Siguiendo a Yurén [41], el objetivo debe ser capacitar a los futuros profesionales para criticar los valores vigentes, juzgar situaciones complejas en busca de equidad y actuar de manera reflexiva para transformar su entorno en beneficio del bien común.

La irrupción de la IA añade una capa de complejidad a este desafío. Los dilemas éticos en IA, como el sesgo algorítmico, la falta de transparencia y la privacidad de los datos [1], [4], [42], no son problemas que un ingeniero pueda resolver de forma aislada. Requieren una comprensión profunda de los contextos sociales, culturales y políticos en los que se implementan estos sistemas. Por lo tanto, un enfoque pedagógico efectivo debe evitar caer en la "microética" [40] y, en su lugar, utilizar casos que obliguen a los estudiantes a

considerar las implicaciones sistémicas de sus decisiones técnicas.

C. Integración Curricular y Formación Docente: Un Enfoque Sistémico

Los resultados de la revisión refuerzan la idea de que la formación ética no puede ser un componente aislado del currículo. Hirsch [43] ya advertía que la introducción de asignaturas no resuelve el problema si se plantea de manera aislada. La demanda estudiantil de "más ética en sus clases técnicas" [36] es un llamado a una integración transversal. Esto implica un cambio paradigmático donde la IA no es solo una materia adicional, sino un eje que influye en todas las áreas de estudio, promoviendo el pensamiento crítico, la innovación y la adaptabilidad [44].

Este enfoque sistémico depende críticamente de la formación docente. Como se destaca en [36], es crucial un doble esfuerzo: por un lado, preparar a los docentes que imparten ética para que dominen el tema con un enfoque práctico y se familiaricen con la problemática específica de la ingeniería; por otro, capacitar a los profesores de disciplinas técnicas para que puedan participar con solvencia en el debate ético. La UNESCO y otros organismos han subrayado la necesidad de desarrollar nuevas competencias docentes para la era de la IA, que incluyen la capacidad de guiar a los estudiantes en un uso ético y responsable de la tecnología [44-45]. Instituciones como el Tecnológico de Monterrey ya están trabajando en la integración de la IA en sus planes de estudio, manteniendo al profesor como eje central del proceso y generando entornos seguros de experimentación [46].

La creación de marcos normativos y comités de ética a nivel institucional también es fundamental [47-48]. Estos marcos no solo regulan el uso de la IA en la propia universidad, sino que también sirven como modelo y objeto de estudio para los futuros ingenieros, proporcionando un entorno donde se fomenta una cultura de ética y responsabilidad [49].

D. La Microética en la Era de la IA Generativa: Nuevas Fronteras para la Responsabilidad Individual

La proliferación de herramientas de IA generativa (IAGen), como ChatGPT, Claude, Copilot ha redefinido y amplificado la importancia de la microética. Si bien la discusión anterior advierte sobre los peligros de un enfoque exclusivamente microético, la IAGen sitúa nuevas y complejas responsabilidades directamente sobre el individuo. Los desafíos relacionados con la integridad académica, como el plagio y la autenticidad del trabajo estudiantil, se han vuelto una preocupación central [50-51].

La responsabilidad microética del estudiante y futuro ingeniero ya no se limita a no copiar, sino que se expande a un conjunto de prácticas más sofisticadas. Estas incluyen la obligación de verificar la información generada por la IA, que puede ser incompleta o falsa [51]; citar adecuadamente el uso

de estas herramientas como asistencia [52]; y comprender críticamente sus limitaciones, como los sesgos inherentes en los datos de entrenamiento [53-54]. Stojanov [52] recomienda que la IAGen no sea utilizada por alumnos con conocimientos básicos sobre un tema, pues no serían capaces de detectar errores, lo que subraya la necesidad de una supervisión y guía docente.

Esta nueva realidad exige que la formación en microética se centre en el desarrollo de un pensamiento crítico robusto. Las habilidades clave identificadas por Facione, como la evaluación de la credibilidad de las fuentes, la explicación del razonamiento y la autorregulación de los propios juicios [54], son más pertinentes que nunca. El ingeniero debe ser capaz de justificar por qué confía (o no) en un resultado proporcionado por una IA, trazar el razonamiento del sistema cuando sea posible (explicabilidad) y asumir la responsabilidad final por la decisión tomada [1], [55]. La responsabilidad ética, como afirma García [1], recae directamente sobre las personas, no sobre las máquinas, ya que estas operan dentro de los límites establecidos por su diseño y programación. Por lo tanto, la enseñanza de la microética debe equipar a los ingenieros con los principios y herramientas para diseñar, implementar y utilizar sistemas de IA de manera justa, transparente, segura y responsable [1], [33].

V. CONCLUSIONES

Esta revisión crítica ha examinado el panorama actual de la enseñanza de la microética de la inteligencia artificial dentro de los programas de ingeniería. El análisis de la literatura confirma una creciente conciencia sobre la necesidad imperativa de formar ingenieros éticamente responsables, capaces de analizar las complejidades morales inherentes al diseño y despliegue de sistemas de IA [56]. Sin embargo, los hallazgos, sintetizados a partir de las secciones de Resultados y Discusión, revelan una brecha significativa y preocupante entre el reconocimiento de este problema y la implementación de soluciones pedagógicas efectivas y escalables. La principal conclusión de este trabajo es que, a pesar de los esfuerzos bien intencionados, los enfoques pedagógicos actuales a menudo son segmentados, teóricos y están desconectados de la práctica diaria de la ingeniería, fallando en formar adecuadamente a los futuros profesionales con las competencias microéticas necesarias.

Un hallazgo central, derivado del análisis, es la predominancia de dos modelos pedagógicos principales: los cursos de ética independientes y los módulos de ética adicionales en los cursos técnicos de IA [57-58]. Si bien los cursos independientes proporcionan una base filosófica sólida, a menudo son percibidos por los estudiantes de ingeniería como un requisito periférico y desconectado de su trabajo técnico principal. Por otro lado, los módulos adicionales, aunque prometedores al integrar la ética directamente en los cursos técnicos, enfrentan desafíos de implementación, como la falta de experiencia en ética por parte del profesorado de ingeniería y la dificultad de ir más allá de estudios de caso

superficiales [59]. La revisión demuestra que ninguno de los dos enfoques, por sí solo, ha logrado cerrar la brecha entre la teoría ética y la aplicación práctica en el ciclo de vida del desarrollo de software de IA [60].

Además, esta revisión ha identificado una brecha crítica de herramientas de evaluación estandarizadas y validadas para medir el desarrollo del razonamiento ético en contextos de ingeniería de IA. La mayoría de las evaluaciones se basan en ensayos reflexivos o discusiones en clase, que, si bien son valiosos, no logran capturar la capacidad de un estudiante para tomar una decisión microética defendible frente a una restricción técnica, un plazo de entrega o una presión comercial [61]. Esta falta de métricas robustas no solo dificulta la evaluación del éxito de las intervenciones pedagógicas, sino que también impide la mejora iterativa de los planes de estudio.

La contribución principal de este artículo es la articulación clara de la necesidad de un cambio de paradigma: de enseñar "ética para ingenieros" a cultivar una "práctica de ingeniería ética". Esto implica un movimiento decisivo hacia la microética, enfocándose en las decisiones y dilemas que los ingenieros enfrentan a nivel individual y de equipo: en la selección de datos, el diseño de algoritmos, las pruebas de sistemas y la documentación de limitaciones [60-61]. La conclusión es que la formación ética debe ser continua, práctica e integrada, tratada con el mismo rigor que cualquier otra competencia fundamental de la ingeniería.

REFERENCIAS

- [1] S. M. García, "Ética e inteligencia artificial," Cuadernos de la Cátedra CaixaBank de Responsabilidad Social Corporativa, no. 42, IESE Business School, 2019.
- [2] "Desafíos éticos de la IA en la ingeniería," *El Blog de la Ingeniería*, 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.elblogdelaingenieria.com/desafios-eticos-ia-ingenieria/>
- [3] B. Green, "Teaching a Course on AI Ethics as Part of Engineering/CS Curricula," Markkula Center for Applied Ethics, Santa Clara University, s.f. [En línea]. Disponible: <https://www.scu.edu/ethics/focus-areas/technology-ethics/resources/embedding-ethics-into-computing-curricula-resources-and-suggestions/teaching-a-course-on-ai-ethics-as-part-of-engineeringcs-curricula/>
- [4] UNESCO, "Recomendación sobre la Ética de la Inteligencia Artificial," 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.unesco.org/es/artificial-intelligence/recommendation-ethics>
- [5] Grupo Independiente de Expertos de Alto Nivel sobre Inteligencia Artificial, "Directrices éticas para una IA fiable," Comisión Europea, 2019. [En línea]. Disponible: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=60423
- [6] Devoteam, "Ejemplos de IA ética: Casos prácticos para inspirar tu innovación," s.f. [En línea]. Disponible: <https://www.devoteam.com/es/expert-view/ejemplos-ia-etica-casos-practicos/>
- [7] J. A. Cárdenas-Oliveros, L. M. S. Villamizar, y M. A. R. Rojas, "Estrategias para el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de ingeniería: una revisión sistemática de literatura," *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 17, n.º 34, pp. 38-51, 2022.
- [8] S. Gavrell, "El peso de la responsabilidad: sobre la 'micro-ética' y la 'macro-ética' en la enseñanza de ética en la ingeniería," *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, vol. 11, n.º 2, 2011.

- [9] UNESCO, "Casos de estudio sobre la ética de la IA," 24 de abril de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.unesco.org/es/artificial-intelligence/recommendation-ethics/cases>
- [10] M. Dahlin, citado en A. L. T. Rodríguez, "El valor de la ética aplicada en los estudios de ingeniería en un horizonte de inteligencia artificial confiable," *Redalyc*, 15 de enero de 2024.
- [11] D. Gracia Calandín, citado en A. L. T. Rodríguez, "El valor de la ética aplicada en los estudios de ingeniería en un horizonte de inteligencia artificial confiable," *Redalyc*, 15 de enero de 2024.
- [12] N. Vilchis, "IA en el currículo: desafíos y buenas prácticas en la formación de ingenieros," *Observatorio del Instituto para el Futuro de la Educación*, 2 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://observatorio.tec.mx/ia-en-el-curriculo/>
- [13] M. J. Casañ Guerrero y M. Alier Forment, "Case Studies About Moral Dilemmas to Apply Ethical Theories in Engineering Education," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 19, pp. 1-6, 2024, doi: 10.1109/RITA.2024.3368609.
- [14] F. J. García-Peñalvo, M. J. Casañ-Guerrero, M. Alier-Forment, y J. A. Pereira-Varela, "¿Cómo enseñar ética en tiempos de inteligencia artificial generativa? Un reto urgente en la educación superior," *Aula Magna 2.0* [Blog], 4 de julio de 2025. [En línea]. Disponible: <https://cuedespyd.hypotheses.org/19360>
- [15] Aureum Consulting, "Ética de la IA: 7 dilemas que debemos resolver urgentemente," 2 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://aureum.consulting/blog/%C3%A9tica-de-la-ia-7-dilemas-que-debemos-resolver-urgentemente>
- [16] E.D. Rivas Briceño and M.A. Valdivia Pinto O, "El múltimétodo en el quehacer investigativo de las Ciencias Sociales ¿alternativa o paradoja?" Revista EDUCARE - UPEL-IPB - Segunda Nueva Etapa 2.0, 2022.
- [17] S.M. Barrios, "El enfoque multimétodo como opción para abordar la investigación educativa". GACETA DE PEDAGOGÍA, 2021.J.-G. Lu, "Title of paper with only the first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.
- [18] M. Gessler and C. Siemer, "Umbrella review: Methodological review of reviews published in peer-reviewed journals with a substantial focus on vocational education and training research". International Journal for Research in Vocational Education and Training, 2020.
- [19] H.F. Ávila, M.M. González and S.M. Licea, "La triangulación metodológica como método de la investigación científica: Apuntes para una conceptualización." Didace@lia: Didáctica y Educación, 2019, 10, 137-146.
- [20] L.B. Salinas, "El método de la triangulación para estudiar los efectos de la comunicación sanitaria", 2016.
- [21] S. Hughes, T.E. Davis and S.N. Imenda, "Demystifying Theoretical and Conceptual Frameworks: A Guide for Students and Advisors of Educational Research." Journal of the Social Sciences, 58(1-3), 2019, doi: 10.31901/24566756.2019/58.1-3.2188
- [22] M. R. Camacho Vázquez, "Implicaciones éticas del uso de inteligencia artificial en educación superior," Revista de Educación y Desarrollo, 2025. [En línea]. Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2594-28402025000200122
- [23] D. Kim, "Toward a Policy Approach to Normative Artificial Intelligence Governance: Implications for AI Ethics Education," IEEE Transactions on Technology and Society, vol. 5, no. 3, pp. 324-332, Sep. 2024. [En línea]. Disponible: https://policy.isce.vt.edu/content/dam/policy_isce_vt_edu/publications/Toward_a_Policy_Approach_to_Normative_Artificial_Intelligence_Governance_Implications_for_AI_Ethics_Education.pdf
- [24] A. L. Páez Michel, "La formación ética en estudiantes de ingeniería en una universidad tecnológica," Innovación educativa (México, DF), vol. 20, no. 83, pp. 125-146, sep. 2020. [En línea]. Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732020000300125
- [25] A. L. T. Rodríguez, "El valor de la ética aplicada en los estudios de ingeniería en un horizonte de inteligencia artificial confiable," Ingeniería y competitividad, vol. 26, no. 1, e2011232, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/4418/441876638007/html/>
- [26] I. Y. Razo-Abundis, "Metodologías activas de aprendizaje en la formación de ingenieros," Revista UGC, 2024. [En línea]. Disponible: <https://universidadugc.edu.mx/ojs/index.php/rugc/article/view/47>
- [27] M. K. Camarillo, "Evaluating engineering ethics case studies: Can generative AI replace the textbook?," in 2025 ASEE Annual Conference & Exposition, 2025. [En línea]. Disponible: <https://peer.asee.org/evaluating-engineering-ethics-case-studies-can-generative-ai-replace-the-textbook>
- [28] My Next Developer, "El dilema ético de la IA: ¿podemos confiar en que las máquinas tomen decisiones morales?," 12 feb. 2025. [En línea]. Disponible: <https://mynextdeveloper.com/es/blogs/ai-ethical-dilemma-can-we-trust-machines-to-make-moral-decisions/>
- [29] N. Vilchis, "La IA en el currículo de ingeniería: una visión global," Observatorio del Instituto para el Futuro de la Educación, 2 dic. 2024. [En línea]. Disponible: <https://observatorio.tec.mx/ia-en-el-curriculo/>
- [30] ISTE y General Motors, "Proyectos prácticos de la IA para el aula: Una guía ética sobre la IA," 2021. [En línea]. Disponible: <https://cdn.iste.org/www-root/2021-10/AI%20Ethics%20Guide%20SP.pdf>
- [31] ThinkersPro, "Ética en la Inteligencia Artificial: Desafíos y Soluciones," s.f. [En línea]. Disponible: <https://thinkerspro.com/etica-en-la-inteligencia-artificial-desafios-y-soluciones/>
- [32] D. C. Domínguez, "Usos éticos de la IA en la universidad moderna más allá del plagio," EDU Review, vol. 12, no. 1, pp. 57-65, 2024. [En línea]. Disponible: <https://edulab.es/revEDU/article/download/5184/3446>
- [33] Inteca Ingeniería, "La urgencia de una ética sólida en la ingeniería de IA," 4 abr. 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.intecasl.net/la-urgencia-de-una-etica-solida-en-la-ingenieria-de-ia/>
- [34] G. Arriagada Bruneau, "Feminismo de datos y ética de la IA: una propuesta curricular para la educación superior en Chile," Revista de Filosofía, vol. 80, pp. 137-156, 2024. [En línea]. Disponible: <https://revistafilosofia.uchile.cl/index.php/RDF/article/download/74905/78540/302993>
- [35] S. Zhou, "Philosophical Resources for AI Ethics Frameworks," AI and Ethics, 2025. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40889-025-00232-5>
- [36] A. L. Páez Michel, "La formación ética de los ingenieros. Una mirada desde los estudiantes de ingeniería ambiental," Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 28, no. 3, pp. 125-136, 2020.
- [37] F. Lozano, "La enseñanza de la ética en las facultades y escuelas de ingeniería," presentado en el Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación, México, 2000.
- [38] R. Vázquez, "La formación de ingenieros en México: Hacia un nuevo paradigma," Ingeniería, investigación y tecnología, vol. 13, no. 4, pp. 455-464, 2012.
- [39] L. L. Bucciarelli, "Ethics and engineering education," European Journal of Engineering Education, vol. 33, no. 2, pp. 141-149, 2008.
- [40] C. Painter, "Avoiding the micro-ethics trap in engineering ethics education," in 2012 ASEE Annual Conference & Exposition, 2012, pp. 25-141.
- [41] T. Yurén, "Ética profesional y formación," en La formación en el trabajo, México: UNAM, 2013, pp. 233-256.
- [42] H. Rodríguez-Reséndiz et al., "Análisis crítico ético de la IA en la educación," CIEG, Revista Arbitrada del Centro de Investigación y Estudios Gerenciales, no. 69, pp. 171-181, 2024.
- [43] A. Hirsch Adler, "La formación de valores en la educación superior: la perspectiva de los estudiantes," Revista de la Educación Superior, vol. 33, no. 129, pp. 73-88, 2004.
- [44] PRISMA Tecnológico, "La inteligencia artificial en la ingeniería: una revisión de su impacto en el currículo y el rol docente," PRISMA Tecnológico, vol. 16, no. 1, pp. 15-24, 2025.
- [45] UNESCO, "Marco de competencias de los docentes en materia de IA," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.unesco.org/es/articles/marco-de-competencias-para-docentes-en-materia-de-ia>
- [46] CONECTA, "6 casos de uso exitoso de inteligencia artificial de profesores Tec," Tecnológico de Monterrey, 2 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en:

- <https://conecta.tec.mx/es/noticias/nacional/educacion/6-casos-de-uso-exitoso-de-inteligencia-artificial-de-profesores-tec>
- [47] M. O. G. Fernández, "Marcos normativos y éticos sobre el uso de la inteligencia artificial en la educación superior: una revisión sistemática," *Revista de Educación a Distancia (RED)*, vol. 25, no. 79, 2025.
 - [48] R. Cornejo-Plaza y R. Cippitani, "La regulación de la inteligencia artificial en la Unión Europea y su impacto en la educación superior," *Revista de Derecho (Valdivia)*, vol. 36, no. 1, pp. 215-236, 2023.
 - [49] Haste.wire, "Guía de cumplimiento de IA en universidades: privacidad y ética," 8 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hastewire.com/es/blog/guia-cumplimiento-ia-en-universidades-privacidad-y-etica>
 - [50] E. E. Gómez, "Desarrollo del pensamiento analítico y crítico con inteligencia artificial generativa en ingeniería," *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 26, no. 2, e1052, 2025.
 - [51] C. Gallent-Torres y J. L. Lázaro-Cantabrana, "Inteligencia artificial generativa en educación superior: una revisión de la literatura," *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, vol. 26, no. 2, pp. 95-114, 2023.
 - [52] WJCC Schools, "Guía de la IA generativa de las Escuelas WJCC," abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://wjccschools.org/wp-content/uploads/2025/08/WJCC-Schools-Generative-AI-Guidebook_Spanish.pdf
 - [53] ISTE y AI4K12, "Proyectos prácticos de la IA para el aula: Una guía ética sobre la IA," 2021. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.iste.org/www-root/2021-10/AI%20Ethics%20Guide%20SP.pdf>
 - [54] C. M. Martínez, "El pensamiento crítico en la era de la inteligencia artificial generativa: desafíos y oportunidades para la educación virtual," *Revista de Educación a Distancia (RED)*, vol. 25, no. 80, 2025.
 - [55] PWC y OdiseIA, "Guía de buenas prácticas para el uso de la Inteligencia Artificial," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.pwc.es/es/publicaciones/tecnologia/assets/guia-buenas-practicas-uso-inteligencia-artificial-pwc-odiseia.pdf>
 - [56] M. Vallor, *Technology and the Virtues: A Philosophical Guide to a Future Worth Wanting*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2016.
 - [57] B. Grosz, D. Grant, K. Vredenburg, J. Behrends, L. Miller, J. B. Pollack, y R. C. G. de-Wit, "Embedded EthiCS: Integrating ethics across the computer science curriculum," en *Proc. ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*, 2019, pp. 1-7.
 - [58] C. Fiesler, N. Garrett and N. Beard, "What do we teach when we teach tech ethics?: A syllabi analysis," en *Proc. ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT)*, 2020, pp. 345-355.
 - [59] S. Spiekermann, "The challenges of teaching ethics to future data scientists," *IEEE Technology and Society Magazine*, vol. 39, no. 3, pp. 23-27, Sep. 2020.
 - [60] C. L. Dancy and L. D. Introna, "The great disconnect: The lack of a 'practice turn' in teaching IS ethics," *Science and Engineering Ethics*, vol. 23, no. 2, pp. 365-389, 2017.
 - [61] J. van den Hoven, "Value sensitive design and responsible innovation," en *Responsible Innovation 1: Innovative Solutions for Global Issues*, R. Owen, J. Bessant, y M. Heintz, Eds. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2013, pp. 75-83.