

Artificial Intelligence to Analyze the Sustainability of Cities and Strengthen the Comprehensive Education of University Students

E.G. Toriz G¹; A.D. García G²; M. Aparicio P³; J.M Díaz T⁴

^{1,3} Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Estado de México. México, Sociedad Interactiva de Capacitación y Educación para el Desarrollo Sustentable. SICEDES. México, etoriz@tec.mx, marceapario4@gmail.com

^{2,4} Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Estado de México. México, Sociedad Interactiva de Capacitación y Educación para el Desarrollo Sustentable. SICEDES. México, garcia.andres@tec.mx, manueldiaztoriz@gmail.com

Abstract— Accelerated urbanization and associated phenomena—such as inequality, poverty, overpopulation, habitat degradation, deforestation, biodiversity loss, pollution, and depletion of natural resources—continue to hinder progress toward sustainable development. Although the urgency of these challenges is evident, a marked social indifference persists, also reflected among university students, who often display disinterest, rote learning, and limited ethical awareness. This cognitive and attitudinal disconnection hinders the construction of robust knowledge and the development of critical competencies needed to understand and mitigate complex socio-environmental challenges. This study presents the results of integrating Artificial Intelligence (AI) tools into a university educational environment to strengthen critical reasoning, ethical decision-making, and interdisciplinary understanding related to climate change and sustainable development. AI was employed to analyze urban data, model scenarios, and generate strategies aimed at improving community sustainability, positioning students as active agents in the analysis of socio-ecological systems. Findings show that pedagogical integration of AI significantly increases student interest, participation, and the development of both disciplinary and transversal competencies by providing dynamic, contextualized learning experiences aligned with the Sustainable Development Goals. The adoption of emerging technologies in higher education not only enhances the understanding of present environmental challenges but also empowers students as active contributors in constructing sustainable solutions for their communities.

Key Words— Artificial Intelligence (AI), Urban sustainability, Educational innovation, Higher education, Professional education.

Inteligencia Artificial para Analizar la Sostenibilidad de las Ciudades y Fortalecer la Formación Integral del Estudiante Universitario

E.G. Toriz G¹; A.D. García G²; M. Aparicio P³; J.M Díaz T⁴

^{1,3} Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Estado de México. México, Sociedad Interactiva de Capacitación y Educación para el Desarrollo Sustentable. SICEDES. México, etoriz@tec.mx, marceapario4@gmail.com

^{2,4} Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Estado de México. México, Sociedad Interactiva de Capacitación y Educación para el Desarrollo Sustentable. SICEDES. México, garcia.andres@tec.mx, manueldiaztoriz@gmail.com

Resumen— *La acelerada urbanización y fenómenos asociados como desigualdad, pobreza, superpoblación, degradación de hábitats, deforestación, pérdida de biodiversidad, contaminación y agotamiento de recursos naturales, continúan dificultando el avance hacia el desarrollo sostenible. Aunque la urgencia de estas problemáticas es evidente, persiste una marcada indiferencia social que también se refleja en estudiantes universitarios, quienes suelen mostrar desinterés, aprendizaje memorístico y limitada conciencia ética. Esta desconexión cognitiva y actitudinal obstaculiza la construcción de conocimientos sólidos y el desarrollo de competencias críticas necesarias para comprender y mitigar desafíos socioambientales complejos. Este artículo presenta los resultados de integrar herramientas de Inteligencia Artificial (IA) en un entorno educativo universitario con el fin de fortalecer el razonamiento crítico, la toma de decisiones éticas y la comprensión interdisciplinaria vinculadas al cambio climático y al desarrollo sostenible. La IA se empleó para analizar datos urbanos, modelar escenarios y generar estrategias orientadas a mejorar la sostenibilidad comunitaria, posicionando al estudiante como agente activo en el análisis de sistemas socioecológicos. Los resultados evidencian que la IA incrementa significativamente el interés, la participación y el desarrollo de competencias disciplinares y transversales, al ofrecer experiencias de aprendizaje dinámicas, contextualizadas y alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La integración de tecnologías emergentes en la educación superior no solo optimiza la comprensión de los desafíos ambientales actuales, sino que también empodera a los estudiantes como agentes activos en la construcción de soluciones sostenibles para sus comunidades.*

Palabras Clave — *Inteligencia Artificial (IA), Sostenibilidad urbana, Innovación educativa, Educación superior, Educación profesional.*

I. INTRODUCCIÓN

La acelerada urbanización y la creciente complejidad de los sistemas socioecológicos urbanos exigen enfoques analíticos que permitan integrar grandes volúmenes de datos, trabajar en múltiples escalas e incorporar criterios éticos, con el fin de avanzar hacia el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y fortalecer la sostenibilidad urbana.

Bajo estas circunstancias, la Inteligencia Artificial (IA) se ha consolidado como un importante catalizador para evaluar y mejorar la sostenibilidad urbana mediante el uso de analítica de datos, modelación de escenarios y herramientas de apoyo a la toma de decisiones, con aplicaciones ampliamente documentadas en ámbitos como la calidad del aire, la movilidad, la gestión de residuos, la planificación urbana y la resiliencia climática [1], [2]. De manera complementaria, diversas evaluaciones de alcance global advierten que la rápida adopción de la IA en las ciudades debe ir acompañada de marcos de gobernanza responsables, orientados a mitigar riesgos asociados con sesgos algorítmicos, vulneraciones a la privacidad y el aumento de las brechas digitales, problemáticas que se acentúan particularmente en el Sur Global [3], [4].

La educación superior desempeña un papel estratégico al formar profesionales con las competencias necesarias para diagnosticar, evaluar y proponer soluciones sostenibles basadas en evidencia, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los principios de la ética pública [5], [6]. En este marco, diversos estudios recientes destacan que la integración pedagógica de la Inteligencia Artificial (IA) puede potenciar el compromiso estudiantil, promover el aprendizaje interdisciplinario y fortalecer la toma de decisiones éticas, siempre que su adopción se acompañe de marcos de uso responsable y procesos adecuados de alfabetización en IA [7], [8].

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo desarrollar y fortalecer competencias que permitan a los estudiantes evaluar la sostenibilidad de ciudades y comunidades mediante el uso de herramientas de IA, así como proponer estrategias orientadas a elevar su nivel de sostenibilidad, atendiendo de manera explícita la resolución ética de los desafíos identificados. Para ello, se implementa una secuencia didáctica que integra: (i) el análisis de datos urbanos, a partir de indicadores ambientales y sociales; (ii) la modelación y simulación de escenarios de mitigación y adaptación; y (iii) el diseño de estrategias sustentadas en evidencia y en principios de IA responsable.

Con esta propuesta se busca articular resultados de aprendizaje tanto disciplinares como transversales, incluyendo el razonamiento crítico, el juicio ético y la toma de decisiones informada para dar respuesta a la creciente demanda internacional de ciudades y universidades por aprovechar el potencial de la IA en la consecución de los ODS, incorporando salvaguardas claras en materia de gobernanza, inclusión y equidad [1], [3], [6].

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A. *Inteligencia Artificial y sostenibilidad urbana: fundamentos y vínculo con los ODS.*

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 (ODS 11) plantea el desafío de construir ciudades y comunidades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, lo cual requiere enfoques analíticos capaces de integrar datos heterogéneos de naturaleza biofísica, social e institucional, así como de respaldar la toma de decisiones en contextos urbanos caracterizados por su alta complejidad. En este escenario, la Inteligencia Artificial (IA) se ha consolidado como una herramienta clave para procesar grandes volúmenes de información y generar conocimiento accionable para la planificación urbana sostenible.

La literatura científica reciente, particularmente en revistas como *Cities*, reconoce el potencial de la IA para diagnosticar el desempeño ambiental y social de las ciudades y acelerar el avance hacia el ODS 11, mediante aplicaciones en calidad del aire, movilidad urbana, gestión de residuos, planeación territorial y resiliencia climática [1]. No obstante, estos trabajos también subrayan la persistencia de brechas entre el potencial tecnológico y su despliegue efectivo en los gobiernos locales, especialmente en contextos con capacidades institucionales limitadas.

Esta promesa tecnológica convive con crecientes exigencias de gobernanza responsable. Evaluaciones globales impulsadas por ONU-Hábitat y el United Nations University e-Government Survey advierten sobre la necesidad de estandarización, mitigación de sesgos algorítmicos, protección de la privacidad y reducción de la brecha digital, particularmente en ciudades del Sur Global [3], [4]. En este marco, la formación universitaria adquiere un doble rol estratégico: por un lado, contribuir a la producción de evidencia útil para la gestión urbana y, por otro, formar profesionales capaces de evaluar críticamente la sostenibilidad urbana y proponer estrategias éticas, inclusivas y efectivas [5], [6].

B. *IA y teledetección para evaluar sostenibilidad urbana*

La teledetección (Remote Sensing, RS), combinada con técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning, ML), RS+ML, se ha consolidado como uno de los enfoques dominantes para caracterizar las dinámicas urbanas, derivar

indicadores ambientales y construir índices sintéticos de sostenibilidad.

Revisiones sistemáticas recientes muestran que la integración RS+ML permite analizar fenómenos clave asociados al ODS 11, como la expansión urbana, la formación de islas de calor, la pérdida de cobertura vegetal y el consumo de suelo, con un predominio de métodos supervisados como Random Forest, Gradient Boosting y redes neuronales convolucionales (CNN) aplicados a imágenes satelitales y datos LiDAR (Light Detection and Ranging) [2], [3].

Estudios empíricos de carácter longitudinal, con series temporales superiores a 30 años, han empleado CNN y Random Forest para clasificar uso y cobertura del suelo (LULC), estimar índices como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST), así como para cuantificar el efecto de isla de calor urbana (Urban Heat Island, UHI). Estos trabajos evidencian relaciones estadísticamente significativas entre los procesos de urbanización y los cambios microclimáticos, con implicaciones directas para la planificación de infraestructura verde y el diseño de estrategias de resiliencia urbana [9].

Un aporte relevante en este ámbito es el desarrollo del Remote Sensing Ecological Index (RSEI), que integra dimensiones biofísicas como vegetación, humedad, calor y sellamiento del suelo en un índice compuesto. Este tipo de métricas facilita la síntesis espacial de múltiples dimensiones de la sostenibilidad urbana y mejora su comunicación tanto a tomadores de decisión como a la ciudadanía [3]. El RSEI es una metodología de análisis ambiental que aprovecha la teledetección, la cual utiliza la IA y el aprendizaje automático como herramientas para refinar sus resultados y mejorar la toma de decisiones.

En conjunto, la evidencia basada en RS+ML proporciona una base sólida para que el estudiantado pueda: (i) construir diagnósticos comparables entre barrios o distritos; (ii) simular escenarios de intervención, como el incremento de áreas verdes o soluciones basadas en la naturaleza; y (iii) priorizar acciones con alto impacto y costo-efectividad [1], [2].

C. *Modelación de escenarios, apoyo a la decisión y transparencia algorítmica*

Para traducir los diagnósticos en acciones concretas, la literatura especializada recomienda el uso de marcos de apoyo a la toma de decisiones que integren datos provenientes de teledetección, variables socioeconómicas y objetivos explícitos de política pública, como la mitigación del cambio climático, la adaptación y la equidad territorial. Revisiones publicadas en *Sustainable Cities and Society* proponen marcos integradores que combinan adquisición de datos, procesamiento, modelación y evaluación, destacando la importancia de la supervisión humana y la incorporación de información socioeconómica para evitar enfoques

reduccionistas centrados exclusivamente en lo físico-espacial [10].

Dado que las decisiones urbanas tienen impactos diferenciados sobre diversos grupos sociales, la interpretabilidad de los modelos de IA resulta indispensable. En el campo de la analítica urbana, el uso de técnicas de Explainable AI (XAI), como SHAP o LIME, fortalece la trazabilidad de los modelos al permitir explicar por qué determinadas zonas emergen como prioritarias en función de variables como calor extremo, escasez de áreas verdes o vulnerabilidad social. Esto facilita procesos de deliberación pública, auditoría y mejora continua de los modelos, y se alinea con las directrices internacionales de IA responsable aplicadas al contexto urbano [3], [4], [10].

D. Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) y competencias en la educación superior

La Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) contemporánea promueve enfoques transformadores basados en la inter y transdisciplinariedad, el aprendizaje basado en problemas y el involucramiento de múltiples actores, con el objetivo de reducir la brecha entre el currículo universitario y los desafíos reales de sostenibilidad. La evidencia comparada señala una creciente integración de los ODS en la educación superior, especialmente en programas de ingeniería, tecnología y ciencias sociales, mediante cursos, talleres y experiencias prácticas; sin embargo, también identifica persistentes asimetrías entre países y una atención todavía insuficiente a las dimensiones sociales de la sostenibilidad [6].

Desde una perspectiva institucional, la educación superior es reconocida como un actor clave para catalizar el avance hacia los ODS, a través de la formación de capital humano, la producción de conocimiento y la transferencia con impacto social [5]. Bajo este enfoque, la incorporación de IA en el aula no constituye un fin en sí mismo, sino un medio para desarrollar competencias críticas como el pensamiento sistémico, el razonamiento causal, el análisis espacial, el juicio ético, la toma de decisiones informada y la comunicación de evidencia a actores públicos y comunitarios [5], [6].

E. IA en educación superior: beneficios, riesgos y marcos éticos

Desde el punto de vista pedagógico, revisiones recientes muestran que la integración de la IA en la educación superior puede mejorar el compromiso estudiantil, favorecer procesos de personalización del aprendizaje y apoyar la alfabetización en sostenibilidad. No obstante, estos beneficios se acompañan de riesgos asociados con sesgos algorítmicos, privacidad de los datos, falta de transparencia y brechas de acceso, lo que hace imprescindible el desarrollo de marcos sólidos de gobernanza institucional [7].

Análisis comparados de políticas y directrices sobre ética de la IA, provenientes de organismos internacionales como la

UNESCO, la Unión Europea y la academia, recomiendan la adopción de principios de equidad, trazabilidad, protección de colectivos vulnerables y calidad de los datos, con el fin de preservar la integridad académica y fortalecer la confianza pública en el uso de estas tecnologías [11]. En coherencia con estas recomendaciones, el presente trabajo adopta salvaguardas que incluyen la documentación rigurosa de los conjuntos de datos, la evaluación de sesgos geoespaciales, el uso de herramientas de Inteligencia Artificial Explicable (XAI) y el codiseño con comunidades y autoridades locales [3], [4], [10], [11].

F. Modelo conceptual integrador para la formación integral con IA

A partir de la literatura analizada, se propone un modelo conceptual integrador que articula cuatro capas orientadas a fortalecer la formación integral del estudiantado y su capacidad para evaluar y mejorar la sostenibilidad urbana. La primera capa se centra en los datos y la medición, mediante el uso de imágenes satelitales y datos abiertos urbanos para calcular indicadores ambientales e índices compuestos [2], [3]. La segunda aborda la modelación y simulación de escenarios, apoyada en técnicas de ML y DL para analizar alternativas de mitigación y adaptación [1], [2]. La tercera incorpora la interpretabilidad y la gobernanza, mediante el uso de XAI y principios de IA responsable [3], [4], [10]. Finalmente, la cuarta capa se orienta a la transferencia y la acción, a través del codiseño de estrategias con actores locales y la comunicación de resultados mediante instrumentos de política pública y seguimiento de los ODS [5], [6], [7].

Este modelo traduce la evidencia científica en una progresión formativa coherente y responde a la necesidad de una IA urbana responsable, explicable y contextualizada, tal como recomiendan las evaluaciones globales recientes [3], [4].

G. Implicaciones para la investigación y la práctica docente

Desde la perspectiva de la investigación, el modelo propuesto incentiva estudios comparativos entre ciudades, la integración de datos físicos y socioeconómicos, y la evaluación de políticas urbanas mediante métricas reproducibles y explicables [2]. En el ámbito docente, facilita el diseño de rúbricas de evaluación alineadas con competencias vinculadas a los ODS, como el razonamiento crítico, el juicio ético y la comunicación pública, incorporando el principio de Responsible AI by Design en la formación universitaria [6], [7], [11].

Responsible AI by Design (IA Responsable desde el Diseño) es un enfoque metodológico que consiste en integrar principios éticos, legales, técnicos y sociales desde la fase inicial de conceptualización de un sistema de inteligencia artificial, y no como una revisión final o una "capa" añadida a

posteriori. Significa adoptar proactivamente medidas para asegurar que la IA sea justa, segura, transparente y confiable, anticipando y previniendo riesgos como sesgos o resultados ineficientes, antes de que ocurran.

IA desde el diseño significa: a) Proactividad: Los riesgos se gestionan desde que se definen los objetivos del sistema, no cuando ya está desplegado; b) Enfoque integral: La ética se incorpora en todas las etapas del ciclo de vida: diseño, desarrollo, entrenamiento de datos, implementación y monitoreo; c) Preventivo: Busca evitar la discriminación y los fallos de seguridad de origen, en lugar de corregirlos tras generar un impacto negativo.

Un sistema de Responsable AI se sostiene sobre varios pilares fundamentales: a) Equidad (Fairness): Mitigar sesgos para evitar que la IA discrimine por razones de género, raza o cualquier otra característica; b) Transparencia y Explicabilidad: Los sistemas deben ser comprensibles. Se debe poder explicar cómo una IA llegó a una conclusión específica; c) Privacidad y Seguridad: Protección de los datos personales y garantía de que el sistema es robusto contra ataques; d) Responsabilidad (Accountability): Definir quién es responsable del comportamiento del sistema y garantizar la supervisión humana; e) Beneficio Social: Asegurar que la IA tenga un impacto positivo en las personas y el medio ambiente [12].

Trabajar con un sistema de IA Responsable es muy importante: a) Genera Confianza: Facilita la adopción de la tecnología al asegurar que es segura y confiable; b) Cumplimiento normativo: Prepara a las organizaciones para cumplir con regulaciones cada vez más estrictas sobre ética en IA; c) Mitigación de Riesgos: Evita daños reputacionales, legales y económicos derivados de decisiones automáticas sesgadas o erróneas.

Responsible AI by Design convierte la ética de la IA en una ventaja competitiva y una práctica operativa, poniendo a las personas en el centro del desarrollo tecnológico.

Este marco teórico sustenta la hipótesis central del artículo: la integración pedagógica de la IA en la educación superior puede desarrollar competencias clave para evaluar y mejorar la sostenibilidad urbana, al tiempo que promueve la toma de decisiones éticas y el empoderamiento del estudiantado como agente de transformación local [1], [5], [7].

III. METODOLOGÍA

A. Diseño de la investigación

Este estudio adopta un diseño de investigación de métodos mixtos, integrado en una intervención de Aprendizaje Basado en Retos (ABR), con un enfoque aplicado a problemas reales de sostenibilidad urbana. Se empleó un diseño cuasiexperimental con mediciones pretest y

posttest, orientado a evaluar de manera simultánea: (i) la efectividad de técnicas de Inteligencia Artificial (IA) para el análisis de la sostenibilidad urbana y (ii) el impacto de su integración pedagógica responsable en el desarrollo de competencias disciplinares, transversales y éticas del estudiantado universitario. La metodología se alinea explícitamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 (ODS 11), al situar a las ciudades y comunidades como unidades de análisis y como escenarios de aprendizaje auténtico, integrando datos, analítica avanzada y reflexión ética.

B. Contexto y participantes

El estudio se desarrolló en la Unidad Formativa Procesos ecológicos para el desarrollo humano, una asignatura de educación superior impartida en una universidad privada mexicana, orientada al análisis de temas relacionados con la sostenibilidad, los estudios urbanos, la ingeniería y las ciencias ambientales.

Participaron 100 estudiantes, con edades comprendidas entre 18 y 22 años, que cursaban del primer al quinto semestre de programas académicos adscritos a las Escuelas de Ingeniería y Ciencias, Arquitectura y Diseño, Negocios, Humanidades y Gobierno de la institución.

Los estudiantes se organizaron en equipos multidisciplinarios, procurando que cada integrante perteneciera a una carrera distinta, con el objetivo de incorporar diversas miradas disciplinares al análisis del reto planteado. Esta conformación buscó reproducir contextos reales de análisis y toma de decisiones urbanas, favoreciendo el intercambio de perspectivas y la construcción colectiva de soluciones desde enfoques complementarios.

La participación se llevó a cabo de acuerdo con los lineamientos éticos institucionales. Los datos académicos y analíticos generados durante el estudio fueron anonimizados y tratados de forma agregada, garantizando en todo momento la confidencialidad de la información y su uso responsable con fines académicos y de investigación.

C. Intervención de aprendizaje basado en Retos (ABR)

La intervención de ABR se implementó durante un semestre académico y se estructuró en seis fases secuenciales: 1. Definición del reto y alineación con el ODS 11; 2. Adquisición y preprocesamiento de datos urbanos y ambientales; 3. Modelación mediante técnicas de IA basadas en teledetección y aprendizaje automático; 4. Interpretación de resultados mediante técnicas de Inteligencia Artificial Explicable (XAI); 5. Simulación de escenarios de mitigación y adaptación urbana; 6. Desarrollo de productos de apoyo a la toma de decisiones, tales como informes de política pública y escenarios justificadas por evidencia.

A lo largo de todo el proceso se integraron principios de IA responsable, incluyendo transparencia, gobernanza de datos, mitigación de sesgos e interpretabilidad, en consonancia

con recomendaciones internacionales para el uso ético de la IA en contextos urbanos y educativos

D. Variables y fuentes de datos

1) Los indicadores urbanos se obtuvieron a partir de Google Earth, imágenes satelitales de Sentinel y Landsat, así como de conjuntos de datos urbanos de acceso abierto. Las variables analizadas incluyeron el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST), la Intensidad de la Isla de Calor Urbana (UHI), el Uso y Cobertura del Suelo (LULC) y el Índice Ecológico de Teledetección (RSEI), calculadas a escala de barrio o distrito.

2) Variables educativas. Los resultados de aprendizaje se evaluaron en tres dominios: a) Competencias técnicas, relacionadas con análisis de datos, modelación y construcción de escenarios; b) Competencias transversales, principalmente toma de decisiones basada en evidencia, principios de sostenibilidad, pensamiento crítico y pensamiento sistémico; c) Competencias éticas, enfocadas en el reconocimiento de sesgos y la aplicación de principios de IA responsable. Estas competencias se evaluaron mediante rúbricas analíticas y cuestionarios tipo Likert

3) Variables de IA responsable y gobernanza. Se utilizaron indicadores binarios y ordinales para documentar la trazabilidad de los datos, el uso de técnicas XAI, las salvaguardas de privacidad y la consideración de poblaciones vulnerables, en coherencia con marcos de gobernanza de IA en ciudades.

E. Procedimientos de Modelado de IA

Se aplicaron algoritmos de aprendizaje automático supervisado, incluyendo Random Forest y redes neuronales convolucionales, para la clasificación del uso y cobertura del suelo LULC y la estimación de indicadores ambientales. El desempeño de los modelos se evaluó mediante accuracy, F1 score y error cuadrático medio (RMSE), utilizando validación cruzada k fold.

Adicionalmente, se implementaron técnicas de IA explicable (SHAP y LIME) para explicar la contribución de las variables y fortalecer la transparencia y la justificación de la priorización de escenarios

F. Análisis Estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Se emplearon estadísticas descriptivas para resumir indicadores urbanos y desempeño estudiantil. Según la distribución de los datos, se aplicaron pruebas paramétricas (t de Student, ANOVA) o no paramétricas (U de Mann Whitney, Kruskal Wallis).

Los cambios pretest posttest se analizaron mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. Asimismo, se

realizaron análisis de correlación de Pearson o Spearman y modelos de regresión lineal o logística para explorar relaciones predictivas. Los indicadores de gobernanza nominal se analizaron mediante chi cuadrado o prueba exacta de Fisher, y la consistencia interna de las rúbricas se evaluó con el alfa de Cronbach.

G. Consideraciones éticas y reproducibilidad

Todos los procedimientos cumplieron con los principios de ética en investigación institucional. Se emplearon exclusivamente datos urbanos agregados y no personales. Los flujos de trabajo, conjuntos de datos y parámetros de modelado fueron documentados para asegurar la reproducibilidad y la alineación con directrices de IA responsable.

H. Contribución Metodológica

La integración de la analítica urbana, la IA explicable y el ABR permite evaluar simultáneamente la IA como herramienta técnica para la sostenibilidad urbana y como dispositivo pedagógico para fortalecer la formación integral del estudiantado. Esta metodología promueve la toma de decisiones basada en evidencia, la reflexión ética y aprendizajes socialmente relevantes, coherentes con el ODS 11.

I. Evaluación aplicada de la sostenibilidad urbana y entregables

Los apartados A a H de la presente metodología establecen las características fundamentales que debe poseer una ciudad sostenible, integrando dimensiones ambientales, sociales, éticas y de gobernanza. A partir de este marco, un paso adicional del proceso metodológico consistió en la evaluación integral de la sostenibilidad urbana de una ciudad asignada a cada equipo de trabajo, con el propósito de aplicar los conceptos, herramientas y principios analizados a un contexto real.

Como resultado de esta evaluación aplicada, el estudiantado elaboró cuatro entregables complementarios, diseñados para evidenciar tanto el rigor analítico como la capacidad de comunicación y reflexión ética:

1. Documento escrito (formato Word), en el que se integró la investigación recopilada sobre la ciudad asignada, incluyendo indicadores de sostenibilidad, análisis apoyado en herramientas de IA y la argumentación que sustenta la evaluación otorgada.

2. Presentación oral ante jueces especialistas, en la cual se valoró la solidez, coherencia y fundamentación de los argumentos empleados para defender la evaluación de sostenibilidad de la ciudad.

3. Video explicativo, destinado a mostrar la metodología seguida, el contexto urbano analizado, los factores

considerados y las reflexiones éticas incorporadas durante el proceso de evaluación.

4. Material de sensibilización dirigido a la población, cuyo objetivo fue promover la conciencia sobre la relevancia de la sostenibilidad en ciudades y comunidades sostenibles, favoreciendo la comunicación del conocimiento a públicos no especializados.

Durante las distintas etapas del proyecto se emplearon diversas herramientas de Inteligencia Artificial. En la fase inicial de exploración y revisión de literatura se utilizaron Research Rabbit, Explainpaper, Perplexity y Consensus; mientras que para análisis posteriores se recurrió a TecGPT, Copilot y Perplexity. Para la elaboración de presentaciones se empleó Gamma, y para la producción de videos se utilizaron herramientas como InVideo, Fliki, VIDNOZ IA y PICTORY IA. Adicionalmente, se realizó un debate académico asistido por TecGPT, orientado a fortalecer la argumentación y el juicio crítico.

J. Instrumentos de evaluación

Los instrumentos de evaluación utilizados fueron rúbricas analíticas, diseñadas específicamente para valorar el desarrollo de competencias disciplinares, transversales y éticas, así como la fortaleza, claridad y coherencia de los argumentos presentados por el estudiantado ante los jueces especialistas [13]. Estos instrumentos permitieron una evaluación transparente, consistente y alineada tanto con los objetivos formativos como con los enfoques de sostenibilidad urbana y uso responsable de la IA [14].

La evaluación cualitativa consideró dimensiones como la aceptación, el interés y el dominio de las herramientas tecnológicas, así como el desempeño en el trabajo en equipo, de acuerdo con referentes metodológicos ampliamente documentados en la literatura educativa [15]. Por su parte, la evaluación cuantitativa incorporó cuestionarios pretest y postest, encuestas tipo Likert, entrevistas, focus groups y rúbricas de desempeño [16].

Finalmente, los datos recolectados a partir de los distintos instrumentos fueron sistematizados y analizados mediante Microsoft Excel y SPSS, lo que permitió integrar evidencia cuantitativa y cualitativa para una valoración integral del impacto de la metodología implementada.

IV. RESULTADOS

A. Patrones térmicos, cobertura urbana y dinámica espacio-temporal

El análisis de los indicadores ambientales derivados de imágenes satelitales evidenció patrones térmicos y de cobertura consistentes con los reportados en la literatura reciente de sostenibilidad urbana. Se identificaron islas de calor superficiales (SUHI) de mayor intensidad en zonas con alto grado de sellamiento del suelo, asociado a valores elevados del Índice de Diferencia Normalizada de

Edificaciones (NDBI) y bajos niveles de vegetación, reflejados en valores reducidos de NDVI.

Los análisis de correlación mostraron una relación negativa moderada a fuerte entre NDVI y LST, así como una relación positiva entre NDBI y LST, confirmando que la pérdida de cobertura vegetal y el incremento de superficies impermeables contribuyen significativamente al aumento de la temperatura superficial. Estos patrones resultaron más marcados durante la temporada cálida y en condiciones diurnas, lo cual coincide con estudios multicidad recientes basados en series Landsat 8/9 y plataformas como Google Earth Engine [17].

Adicionalmente, se observaron gradientes térmicos intraurbanos reproducibles entre zonas densamente construidas y áreas verdes, tales como parques y corredores vegetados. Al analizar series multianuales superiores a cinco años, estos gradientes se mantuvieron estables interanualmente, lo que permitió realizar comparaciones consistentes a escala de barrio y validar los resultados mediante productos globales de SUHI, como los de YCEO UHI, así como con registros de estaciones in situ.

B. Calidad ecológica urbana y detección de cambios

Los mapas del Índice Ecológico de Teledetección (RSEI) mostraron valores bajos, indicativos de menor calidad ecológica, en polígonos caracterizados por alta impermeabilización y cargas térmicas elevadas, mientras que valores altos se concentraron en zonas cercanas a cuerpos de agua, parques urbanos y corredores verdes. El uso de variantes de RSEI basadas en GWPCA y normalización temporal incrementó la robustez espacio temporal de los resultados y favoreció la comparabilidad anual, fortaleciendo el análisis longitudinal.

Mediante el uso de Google Earth y Google Earth Engine se documentaron procesos recientes de expansión urbana y pérdida de cobertura verde, lo que permitió generar visualizaciones tridimensionales y tableros interactivos orientados a la comunicación pública de resultados y al codiseño de soluciones urbanas con enfoque de sostenibilidad.

C. Escenarios de mitigación, adaptación y análisis multiobjetivo

La simulación de escenarios de mitigación térmica, basados principalmente en soluciones basadas en la naturaleza, como el incremento de arbolado urbano, vegetación de sombra y superficies frías vegetadas, evidenció una reducción significativa de la extensión e intensidad de hotspots térmicos. Asimismo, estos escenarios contribuyeron a mejorar los valores de RSEI en polígonos considerados prioritarios, particularmente en zonas con NDVI base bajo.

La optimización multiobjetivo, aplicada a la planificación urbana, permitió identificar áreas con alto retorno de intervención, es decir, zonas donde cambios relativamente pequeños generan mejoras sustanciales en términos de

reducción térmica, incremento de vegetación y mejora de la equidad espacial. Este enfoque integró simultáneamente tres objetivos: bajo calor, alto nivel de verde y alta equidad espacial, facilitando la identificación de trade offs y la comparación transparente de alternativas.

El uso de datos masivos, imágenes satelitales y algoritmos de IA permitió modelar escenarios futuros y visualizar impactos potenciales, fortaleciendo la deliberación entre actores y la trazabilidad de las decisiones, en concordancia con estudios previos sobre planeación urbana basada en datos [17]. De manera explícita, el análisis permitió identificar los intercambios o trade offs, por ejemplo, entre la construcción de un parque de gran escala frente a múltiples áreas verdes pequeñas con mayor proximidad a la población.

D. Gobernanza, trazabilidad y consideraciones éticas

Los resultados pusieron de manifiesto la necesidad de implementar una gestión ética, transparente y controlada de la IA en contextos urbanos. La trazabilidad de las decisiones permitió rastrear qué variables fueron priorizadas y por qué se tomaron decisiones específicas, aspecto fundamental para fortalecer la confianza ciudadana, especialmente en ciudades con brechas digitales y desigualdad en el acceso a la tecnología [18].

E. Caracterización de los participantes y organización del trabajo

En el estudio participaron 100 estudiantes de entre 18 y 22 años, inscritos en la Unidad Formativa Procesos ecológicos para el desarrollo humano, cursando del primer al quinto semestre. El estudiantado pertenecía a al menos una de las 30 carreras impartidas por la universidad, adscritas a las Escuelas de Ingeniería y Ciencias, Arquitectura y Diseño, Negocios, Humanidades y Gobierno, tal como se ilustra en las Figuras 1, 2 y 3.



Fig. 1 Edad de los estudiantes participantes.



Fig. 2 Carreras de los estudiantes participantes.

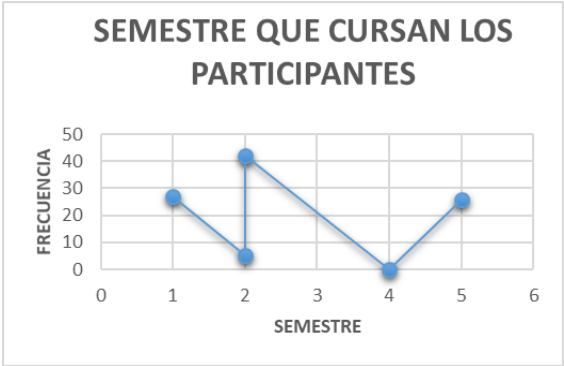


Fig. 3 Semestre que cursan los estudiantes participantes.

F. Uso de herramientas de IA y calidad de entregables

Diversas herramientas de Inteligencia Artificial se emplearon como recursos educativos a lo largo del proceso de análisis de la sostenibilidad urbana. La literatura respalda que el uso de IA incrementa significativamente el nivel de aprendizaje, en gran medida por el interés y la motivación que genera en el estudiantado [19].

Los entregables elaborados para cada ciudad evaluada: documento de investigación, presentación y video. alcanzaron un nivel de profundidad y calidad que posibilitó su potencial entrega a autoridades gubernamentales, como insumo para la consideración de políticas públicas locales. Estos productos integraron información detallada sobre el contexto urbano, incluyendo clima, recursos hídricos, gestión de residuos, fuentes de contaminación, movilidad, población, educación, actividades económicas, tasa de desempleo, emisiones de CO2 y Producto Interno Bruto (PIB).

En todos los casos se identificaron al menos ocho factores internos y tres externos que influyen en la sostenibilidad de la ciudad, se integraron indicadores de sostenibilidad reconocidos [20] y se determinó el grado de sostenibilidad mediante un esquema tipo semáforo. A partir de este diagnóstico, los equipos diseñaron estrategias para elevar el nivel de sostenibilidad desde la perspectiva de su disciplina, incorporando además los principales dilemas éticos, reflexiones sobre dignidad humana, justicia social y derechos humanos.

G. Comparación del desempeño de herramientas de IA

Durante la fase inicial se emplearon Research Rabbit, Explainpaper, Perplexity y Consensus para la obtención de literatura científica, destacando Research Rabbit en la exploración amplia de información y Perplexity en el análisis detallado. En etapas posteriores, TecGPT, Copilot y Perplexity mostraron desempeños diferenciados según la tarea: TecGPT fue más eficaz para el contexto urbano, Perplexity para la evaluación del grado de sostenibilidad y Copilot para el análisis de dilemas éticos y la generación del semáforo de cumplimiento.

Para la comunicación de resultados se utilizó Gamma en presentaciones y herramientas de video, como InVideo, Fliki como puede observarse en la figura 4, VIDNOZ IA y PICTORY IA, destacando esta última por su facilidad de uso y opciones de personalización. Los videos producidos fueron utilizados como base para debates académicos, primero entre estudiantes y posteriormente con apoyo de TecGPT, cuyas aportaciones ampliaron el análisis al incorporar aspectos no considerados inicialmente.

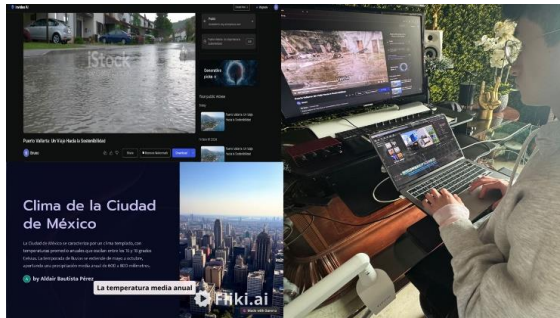


Fig. 4 Video realizado con herramienta Fliki.

En la figura 5 se muestra dos evidencias de los mejores mensajes que se entregaron para sensibilizar a la población de la ciudad que asignada a evaluar.



Fig. 5 Mensajes para sensibilizar a la población de la ciudad evaluada.

H. Percepción estudiantil e impacto formativo

Las encuestas de opinión mostraron que el 100 % del estudiantado consideró que el uso de herramientas de IA redujo el tiempo dedicado a tareas académicas y facilitó un

aprendizaje más eficiente, profundo y motivador. Asimismo, el 92 % identificó la IA como un gran apoyo académico, el 84 % observó mejoras en su rendimiento y el 86 % reportó un aumento en su conciencia sobre los desafíos de la sostenibilidad urbana.

El 90 % de los estudiantes manifestó un cambio positivo de actitud hacia el desarrollo sostenible, describiendo la experiencia como retadora y agradable. Las evaluaciones académicas reflejaron mejoras tanto en calificaciones como en la capacidad de proponer soluciones a desafíos éticos y de sostenibilidad urbana [21]–[24]. La Tabla I muestra que el 59 % estuvo totalmente de acuerdo en que los documentos de evaluación de la sostenibilidad urbana elaborados, tienen calidad para ser entregados a las autoridades gubernamentales de la ciudad evaluada, para su eventual consideración en planes de sostenibilidad del gobierno local.

TABLA I
CALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN PARA SER CONSIDERADA POR LAS
AUTORIDADES GUBERNAMENTALES LOCALES

Opinión del participante	Frecuencia de aceptación	Aceptación %
3 Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	1
4 De acuerdo	40	40
5 Totalmente de acuerdo	59	59
Total	100	100

I. Dilemas éticos en las actividades del estudiantado

Durante el desarrollo de las actividades, el estudiantado enfrentó diversos dilemas éticos derivados del uso de Inteligencia Artificial en la evaluación de la sostenibilidad urbana. Estos incluyeron tensiones entre eficiencia técnica y justicia social, invisibilidad de poblaciones vulnerables en los datos, y la dependencia excesiva de la IA frente al juicio humano. Asimismo, surgieron cuestionamientos sobre la autoría intelectual en el uso de IA generativa, la dificultad de comunicar análisis complejos a públicos no técnicos y los riesgos de estigmatización territorial. Otros dilemas abordaron la neutralidad tecnológica, los derechos humanos, la utilidad social real de los entregables académicos y la responsabilidad ética futura del estudiantado como tomadores de decisiones.

J. Análisis estadístico descriptivo e inferencial básico

1. Estimación de intervalos de confianza (IC 95 %)

Al tratarse de proporciones en una muestra de tamaño $n=100$, se estimaron intervalos de confianza del 95 % (aproximación normal): a) Apoyo académico de la IA (92 %) IC 95 % $\approx [86.7 \%, 97.3 \ %]$; b) Mejora del rendimiento académico (84 %) IC 95 % $\approx [76.8 \ %, 91.2 \ %]$; c) Mayor conciencia sobre sostenibilidad urbana (86 %) IC 95 % $\approx [79.2 \ %, 92.8 \ %]$; d) Cambio positivo de actitud (90 %) IC 95 % $\approx [84.1 \ %, 95.9 \ %]$.

Estos intervalos muestran consistencia y estabilidad estadística en las percepciones estudiantiles, con valores mínimos claramente superiores al 75 % en todos los indicadores clave.

2. Impacto en el rendimiento y el aprendizaje significativo

Las evaluaciones académicas reflejaron: a) Incremento en calificaciones respecto a cursos comparables sin integración sistemática de IA; b) Mayor capacidad de análisis ético, particularmente en dilemas relacionados con sostenibilidad urbana; c) Mejora en la calidad de las propuestas de solución, evidenciada en argumentos más estructurados, contextualizados y fundamentados en evidencia científica.

Desde un enfoque estadístico-pedagógico, estos hallazgos sugieren un efecto positivo medio-alto, coherente con modelos de Aprendizaje Basado en Retos, donde el uso de tecnología actúa como mediador cognitivo y no solo como herramienta operativa,

3. Análisis del componente ético y social

El hecho de que 59 % del estudiantado esté totalmente de acuerdo con entregar los documentos a autoridades locales es estadísticamente relevante, ya que implica: a) Una internalización del rol social del conocimiento; b) Desarrollo incipiente de competencias de ciudadanía y responsabilidad pública; c) Validación de la experiencia como auténtica y con impacto potencial más allá del aula

Si se sumaran las categorías “de acuerdo” y “totalmente de acuerdo”, es razonable inferir que el consenso favorable sería considerablemente mayor, reforzando la dimensión ética del proceso formativo.

Los resultados evidencian que la integración de IA en un marco de Aprendizaje Basado en Retos tuvo un impacto positivo en el aprendizaje significativo, en el fortalecimiento de competencias disciplinares y transversales, y en la formación ética del estudiantado, cumpliendo los objetivos planteados para la evaluación y mejora de la sostenibilidad urbana.

V. DISCUSIÓN

La integración pedagógica de la Inteligencia Artificial (IA) al Aprendizaje Basado en Retos (ABR), constituye una estrategia eficaz para analizar la sostenibilidad urbana y fortalecer la formación integral del estudiantado universitario, en alineación con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11.

Desde la perspectiva técnico ambiental, los patrones térmicos y de cobertura urbana identificados, incluida la relación negativa entre NDVI y LST, así como la asociación positiva entre asentamiento urbano y temperatura superficial, son consistentes con la literatura reciente sobre islas de calor y análisis multicidad mediante teledetección [1], [2], [16]. La estabilidad interanual de los gradientes térmicos y el comportamiento espacial del RSEI refuerzan la validez de los indicadores derivados de imágenes satelitales como

herramientas robustas para el diagnóstico comparativo de la sostenibilidad urbana [21].

La simulación de escenarios de mitigación, particularmente aquellos basados en soluciones basadas en la naturaleza, evidenció mejoras significativas en la calidad ecológica y reducciones en la intensidad térmica, lo cual coincide con estudios que destacan la efectividad de estas estrategias cuando se orientan con datos y se evalúan mediante enfoques multiobjetivo [2], [17], [22]. La incorporación explícita de trade offs y la trazabilidad de decisiones fortalecieron la transparencia del proceso y facilitaron la deliberación informada, aspecto clave para la gobernanza urbana respaldada por IA [3], [4], [18].

Desde el ámbito educativo, la alta aceptación del uso de IA, el incremento en la motivación y la mejora en competencias técnicas, transversales y éticas concuerdan con investigaciones previas que señalan el potencial de la IA para promover aprendizaje significativo y pensamiento crítico en educación superior [5], [6], [10], [23]. El desarrollo de entregables aplicados y transferibles, así como la reflexión explícita sobre dilemas éticos, posiciona al estudiantado como agente activo en la búsqueda de ciudades más sostenibles [24].

VI. LIMITACIONES Y TRABAJOS A FUTURO

El estudio presenta limitaciones metodológicas, contextuales y técnicas que deben considerarse al interpretar sus resultados. La muestra no probabilística, proveniente de una sola institución privada, limita la generalización de los hallazgos, mientras que la heterogeneidad disciplinar del estudiantado, aunque enriquecedora, introdujo asimetrías en competencias previas. Asimismo, el diseño cuasiexperimental sin grupo de control restringe la atribución causal de los efectos observados. Desde el ámbito técnico, la disponibilidad y resolución de datos urbanos, así como la curva de aprendizaje asociada al uso de herramientas de IA, representaron desafíos adicionales.

Estas limitaciones delinean una agenda futura orientada a estudios comparativos, longitudinales, con datos más diversos y diseños metodológicos fortalecidos.

VII. CONCLUSIONES

Este estudio evidencia que la integración responsable de la Inteligencia Artificial (IA) en un enfoque de Aprendizaje Basado en Retos permite analizar de manera rigurosa la sostenibilidad urbana y fortalecer la formación integral del estudiantado universitario, en alineación con el ODS 11.

Los resultados confirman que la IA aplicada a teledetección y analítica urbana genera diagnósticos consistentes, transparentes y útiles para la simulación de escenarios de mitigación y adaptación.

En el ámbito educativo, la metodología favoreció el desarrollo de competencias disciplinares, transversales y

éticas, así como un mayor compromiso estudiantil. La IA, integrada de forma pedagógica y ética, actúa como un catalizador para el aprendizaje significativo y la toma de decisiones urbanas basadas en evidencia.

La IA tiene el potencial de transformar positivamente la educación. El reto es enseñar su uso efectivo y ético. Los estudiantes vivirán rodeados de IA por lo que deben aprender a maximizar su potencial y explorarla como aprendieron a usar Internet para integrarla en su aprendizaje y creación académica.

El uso de la IA disminuye el tiempo de creación, pero aumenta el de supervisión y revisión. No se debe aceptar sin cuestionar una respuesta de la IA. Es crucial enseñar a los estudiantes a evaluar procesos, no solo resultados y solicitar el prompt usado para evaluar su correcta aplicación.

El impacto positivo de la IA en el aprendizaje significativo y en el fortalecimiento de competencias, tanto curriculares como transversales, fue evidente. La integración de IA transformó la clase en una experiencia productiva y divertida, cumpliendo los objetivos de evaluar y proponer estrategias para la sostenibilidad de las ciudades, abordando éticamente los desafíos encontrados.

Es necesario dominar IA para que IA no te domine.

RECONOCIMIENTOS

“The authors would like to acknowledge the financial support of Writing Lab, Institute for the Future of Education, Tecnologico de Monterrey, Mexico, in the production of this work”.

REFERENCIAS

- [1] W. Leal Filho et al., “The role of artificial intelligence in the implementation of the UN Sustainable Development Goal 11: Fostering sustainable cities and communities,” *Cities*, vol. 150, art. no. 105021, 2024, doi: 10.1016/j.cities.2024.105021.
- [2] F. Li, T. Yigitcanlar, M. Nepal, K. N. Thanh, and F. Dur, “Machine learning and remote sensing integration for leveraging urban sustainability: A review and framework,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 96, art. no. 104653, 2023, doi: 10.1016/j.scs.2023.104653.
- [3] UN-Habitat, *Global Assessment of Responsible AI in Cities: Research and Recommendations to Leverage AI for People-Centred Smart Cities*, Nairobi, Kenya, 2024.
- [4] S. Ben Dhaou, T. Isagah, C. Distor, and I. Ruas, *Global assessment of responsible artificial intelligence in cities*, United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), Nairobi, Kenya, 2024.
- [5] M. Chankseliani and T. McCowan, “Higher education and the Sustainable Development Goals,” *Higher Education*, vol. 81, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1007/s10734-020-00652-w.
- [6] W. Holmes, M. Bialik, and C. Fadel, *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning**, Boston, MA, USA: Center for Curriculum Redesign, 2019.
- [7] Á. A. Molina et al., “Integrating the United Nations sustainable development goals into higher education globally: A scoping review,” *Global Health Action*, vol. 16, no. 1, art. no. 2190649, 2023, doi: 10.1080/16549716.2023.2190649.
- [8] S. Khan et al., “Harnessing AI for sustainable higher education: ethical considerations, operational efficiency, and future directions,” *Discover Sustainability*, vol. 6, art. no.23, 2025, doi: 10.1007/s43621-025-00809-6.
- [9] L. B. Lima et al., “Urban Quality: A Remote-Sensing-Perspective Review,” *Urban Science*, vol. 9, no.2, art. no.31, 2025, doi: 10.3390/urbansci9020031.
- [10] S. E. Bibri, J. Krogstie, A. Kaboli, and A. Alahi, “Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review,” *Environmental Science and Ecotechnology*, vol. 19, art. no. 100330, 2024.
- [11] M. E. Akiner and M. Ghasri, “Integrating remote sensing and machine learning to analyze urban growth and its environmental effects: A 30-year assessment in Başakşehir, Turkey,” *Pure and Applied Geophysics*, vol. 182, pp. 2507–2531, 2025.
- [12] Z. Slimi and B. V. Carballido, “Navigating the ethical challenges of artificial intelligence in higher education: An analysis of seven global AI ethics policies,” *TEM Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 590–602, 2023, doi: 10.18421/TEM122-02.
- [13] N. Gericke et al., “The sustainability consciousness questionnaire: The theoretical development and empirical validation of an evaluation instrument for stakeholders working with sustainable development,” *Sustainable Development*, vol. 27, no. 1, pp. 35–49, 2019.
- [14] L. Chen, Z. Chen, Y. Zhang, Y. Liu, A. I. Osman, M. Farghali, J. Hua, A. Al-Fatesh, I. Ihara, and D. W. Rooney, “Artificial intelligence-based solutions for climate change: A review,” *Environmental Chemistry Letters*, vol. 21, no. 5, pp. 2525–2557, 2023.
- [15] S. Sendjaya, N. Eva, I. Butar Butar, M. Robin, and S. Castles, “SLBS-6: Validation of a short form of the servant leadership behavior scale,” *Journal of Business Ethics*, vol. 156, no. 4, pp. 941–956, 2019, doi: 10.1007/s10551-017-3594-3.
- [16] F. Sánchez-Carracedo, M. J. Álvarez Orive, A. Barron, D. Caballero, E. López, J. Muñoz-Rodríguez, M. Lugo-Muñoz, B. Sureda, E. Vidal, and S. Vidal-Raméntol, *Elaboración de un cuestionario para evaluar el nivel de sostenibilidad de los estudiantes de grados en ingeniería TIC*, 2018.
- [17] M. A. Habila, M. Ouladsmame, and Z. A. Alothman, “Role of artificial intelligence in environmental sustainability,” in *Visualization techniques for climate change with machine learning and artificial intelligence*, Elsevier, 2023, pp. 449–469.
- [18] M. Al-Raei, “The smart future for sustainable development: Artificial intelligence solutions for sustainable urbanization,” *Sustainable Development*, 2024.
- [19] N. L. Rane, M. Paramesha, J. Rane, and O. Kaya, “Artificial intelligence, machine learning, and deep learning for enabling smart and sustainable cities and infrastructure,” *Artificial Intelligence and Industry in Society*, vol. 5, pp. 2–25, 2024.
- [20] M. Al-Raei, “The smart future for sustainable development: Artificial intelligence solutions for sustainable urbanization,” *Sustainable Development*, 2024.
- [21] L. Chen, Z. Chen, Y. Zhang, Y. Liu, A. I. Osman, M. Farghali, J. Hua, A. Al-Fatesh, I. Ihara, and D. W. Rooney, “Artificial intelligence-based solutions for climate change: A review,” *Environmental Chemistry Letters*, vol. 21, no. 5, pp. 2525–2557, 2023.
- [22] W. Liu, Y. Xu, D. Fan, Y. Li, X.-F. Shao, and J. Zheng, “Alleviating corporate environmental pollution threats toward public health and safety: The role of smart city and artificial intelligence,” *Safety Science*, vol. 143, art. no. 105433, 2021.
- [23] K. Nti, S. J. Cobbina, E. E. Attafuah, L. D. Senanu, G. Amenyeku, M. A. Gyan, D. Forson, and A.-R. Safo, “Water pollution control and revitalization using advanced technologies: Uncovering artificial intelligence options towards environmental health protection, sustainability and water security,” *Heliyon*, vol. 9, no. 7, art. no. 101420, 2023.
- [24] N. L. Rane, M. Paramesha, J. Rane, and O. Kaya, “Artificial intelligence, machine learning, and deep learning for enabling smart and sustainable cities and infrastructure,” *Artificial Intelligence and Industry in Society*, vol. 5, pp. 2–25, 2024.