Revista Científica Arbitrada Reporte Climatológico
ISSN (e): 3080 – 2504 / Depósito Legal: ZU2024000193
Vol. 1 (1), julio-diciembre 2025

INTEGRANDO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA UN FUTURO UNIVERSITARIO SOSTENIBLE

Jennyre Albany Soto Moronta*
https://orcid.org/0009-0002-1250-5236

Blanca Liliana González Pertuz**
https://orcid.org/0000-0002-9631-2118

Carmen Julia Reyes Mendoza***
https://orcid.org/0009-0000-0667-9622

RECIBIDO: 23/06/2025 **ACEPTADO**: 01/08/2025 **PUBLICADO**: 08/08/2025

Cómo citar: Soto, J., González, B. y Reyes, C. (2025). Integrando la inteligencia artificial para un futuro universitario sostenible. *Revista Científica Arbitrada Reporte Climatológico*, *1*(1), 39-57. https://doi.org/10.36390/bhjxx138

RESUMEN

La iniciativa de la presente investigación surge de la necesidad de explorar y describir la importancia de los componentes fundamentales de la inteligencia artificial (IA). Se tomaron en cuenta los aportes teóricos de autores como Porcelli (2020), Cabanelas (2019), Sánchez (2017). La metodología utilizada fue documental. La relevancia intrínseca de la Inteligencia Artificial (IA), radica en la interconexión sistémica de sus componentes, una sinergia que posibilita a los sistemas emular, y con frecuencia superar, las facultades cognitivas humanas. La investigación explora cómo la inteligencia artificial (IA) es una herramienta clave en esta transformación, aplicando sus tecnologías en áreas como la gestión energética, de residuos y el monitoreo ambiental para optimizar procesos y reducir el impacto ecológico. Sin embargo, se puede inferir que la investigación subraya que la IA tiene una dualidad. A pesar de su potencial para la sostenibilidad, su infraestructura tiene una huella ambiental considerable por el consumo de energía y la generación de residuos electrónicos. Por ello, la integración de la IA debe ser responsable y guiada por un marco de "Impacto Ambiental Neto" para asegurar que sus beneficios superen sus costos ecológicos. La investigación concluye que la IA no es solo una herramienta tecnológica, sino un catalizador para un cambio profundo que posiciona a las universidades como líderes en la creación de un futuro tecnológicamente avanzado y, a la vez, sostenible.

Palabras clave: inteligencia artificial, algoritmos, universidad, futuro, sostenibilidad.

---

* Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín, Venezuela. sjennyre@gmail.com
** Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín, Venezuela. blgonzalez@urbe.edu.ve
*** Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín, Venezuela.carmenrey75@gmail.com

ABSTRACT

The initiative for this research arose from the need to explore and describe the importance of the fundamental components of artificial intelligence (AI). The theoretical contributions of authors such as Porcelli (2020), Cabanelas (2019), and Sánchez (2017) were considered. The methodology employed was documentary. The intrinsic relevance of Artificial Intelligence (AI) lies in the systemic interconnectedness of its components, a synergy that allows systems to emulate, and often surpass, human cognitive capabilities. The research explores how Artificial Intelligence (AI) is a key tool in this transformation, applying its technologies in areas such as energy management, waste management, and environmental monitoring to optimize processes and reduce ecological impact. However, it can be inferred that the research emphasizes that AI presents a duality. Despite its potential for sustainability, its infrastructure has a considerable environmental footprint due to energy consumption and the generation of electronic waste. Therefore, the integration of AI must be responsible and guided by a "Net Environmental Impact" framework to ensure its benefits outweigh its ecological costs. The research concludes that AI is not just a technological tool, but a catalyst for profound change that positions universities as leaders in creating a technologically advanced yet sustainable future.

Key word: artificial intelligence, algorithms, components, university, global sustainability

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las instituciones de educación superior (IES) se enfrentan a un doble imperativo, por un lado, deben liderar la respuesta global a las apremiantes crisis de sostenibilidad, desde el cambio climático hasta la gestión de recursos. Por otro, tienen que navegar y adaptarse a la Cuarta Revolución Industrial, una era transformadora definida por el rápido avance de la inteligencia artificial (IA)**.** Esta situación exige una profunda redefinición de su rol, pasando de ser meros centros de saber a convertirse en catalizadores activos del cambio social y ambiental**.**

Cabe destacar que la conceptualización de la universidad como laboratorio viviente, adquiere una relevancia fundamental en este escenario (Giurea et al., 2024). Los campus universitarios son microcosmos dinámicos de la sociedad, ideales para el desarrollo y la prueba de soluciones innovadoras en sostenibilidad. Lo que se valida y optimiza en estos entornos cerrados puede ser escalado eficientemente a contextos urbanos más amplios, posicionando a las universidades como socios estratégicos en la construcción de ciudades inteligentes y resilientes.

En este sentido, el análisis explora cómo la integración estratégica de la IA en las operaciones universitarias puede ser una vía transformadora hacia la sostenibilidad. Se aborda su aplicación en áreas críticas como la gestión energética, la administración de residuos y el monitoreo ambiental. En este contexto, la IA ofrece herramientas poderosas para optimizar procesos, predecir necesidades y, en última instancia, reducir la huella ecológica de las instituciones.

En este orden de ideas, es importante abordar esta integración con una perspectiva crítica y equilibrada. Se entiende que la IA, a pesar de su potencial, posee una huella ambiental significativa**,** derivada de la energía que consumen sus infraestructuras y la demanda de materiales. Además, su implementación conlleva desafíos éticos, económicos e infraestructurales que deben ser gestionados cuidadosamente (Ramírez Morán, 2025). Un enfoque responsable es indispensable para asegurar que la IA sea un aliado genuino de la sostenibilidad.

La investigación se estructura para ofrecer una comprensión integral. Se inicia con un marco teórico que une la IA con los principios de sostenibilidad. Luego, se contextualiza el emergente "campus impulsado por IA" dentro de los marcos de sostenibilidad globales**.** Posteriormente, se analiza la dualidad de la IA, sopesando sus vastas oportunidades frente a sus complejidades y desafíos inherentes.

Finalmente, se detallan las aplicaciones prácticas de la IA en la gestión y el monitoreo ambiental, así como su impacto en la pedagogía y la formulación de políticas de sostenibilidad. Concluimos sintetizando los hallazgos clave, identificando los desafíos persistentes y proyectando las trayectorias futuras para el "campus algorítmico"**.** El objetivo es trazar un camino hacia un futuro universitario que sea no solo tecnológicamente avanzado, sino fundamentalmente sostenible.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Inteligencia artificial: componentes esenciales

La inteligencia artificial (IA) es una rama de la informática que desarrolla sistemas capaces de exhibir conductas inteligentes, logrando que las máquinas piensen como humanos (Porcelli, 2020). Un sistema de IA procesa grandes volúmenes de datos (Big Data), reconoce patrones y genera predicciones de forma autónoma y precisa (Porcelli, 2020 p.56). La IA fusiona principios de informática, matemáticas, estadística, psicología y neurociencia para emular capacidades cognitivas humanas.

Es importante destacar, que la IA imita la inteligencia humana a través de varios elementos, destacando:

- **Aprendizaje Profundo (Deep Learning - DL):** Utiliza algoritmos que simulan el funcionamiento cerebral para procesar datos no estructurados y crear patrones, vital para el reconocimiento de imágenes, procesamiento del lenguaje natural y reconocimiento de voz (Cabanelas, 2019). En universidades, optimiza infraestructuras como la gestión energética inteligente y potencia la investigación.
- **Aprendizaje Automático (Machine Learning - ML):** Emplea técnicas estadísticas para que los sistemas aprendan y mejoren sin programación explícita, identificando patrones y prediciendo comportamientos (Cabanelas, 2019). Es potente para resolver problemas complejos y automatizar tareas, ofreciendo beneficios a universidades al optimizar recursos y personalizar el aprendizaje.
- **Neurocomputación (Neuro Computing):** Simula estructuras y funciones cerebrales mediante redes neuronales electrónicas para resolver problemas complejos, útil en reconocimiento de patrones y toma de decisiones (Cabanelas, 2019). Su potencial en sustentabilidad reside en la optimización de sistemas complejos, como la gestión integrada de campus inteligentes.
- **Procesamiento de Lenguaje Natural (Natural Language Processing - PLN):** Permite la comunicación efectiva entre humanos y computadoras usando lenguaje natural, logrando que las máquinas comprendan, interpreten y generen lenguaje humano (Cabanelas, 2019). Sus aplicaciones incluyen traducción automática, análisis de sentimientos y chatbots.

En resumen, se puede inferir que la inteligencia artificial (IA), en su esencia, es una disciplina que busca replicar la inteligencia humana en las máquinas. Para lograrlo, se apoya en un conjunto de componentes clave. El Aprendizaje Automático (ML) y el

Aprendizaje Profundo (DL) son los pilares del aprendizaje de la IA, permitiendo que los sistemas procesen datos y reconozcan patrones. Mientras que el ML utiliza técnicas estadísticas más generales, el DL profundiza con redes neuronales para resolver problemas complejos, especialmente aquellos que involucran datos no estructurados como imágenes y voz.

Además de aprender, la IA necesita interactuar con el mundo. Aquí es donde entra el Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), que da a las máquinas la capacidad de entender y comunicarse con los humanos. Finalmente, la Neurocomputación es el concepto más amplio que unifica todo, al simular la arquitectura cerebral para resolver problemas de manera similar a como lo haría un cerebro biológico. En conjunto, estos componentes demuestran que la IA no es una tecnología única, sino un ecosistema de técnicas y aplicaciones que trabajan en sinergia para emular y, en muchos casos, superar las capacidades cognitivas humanas.

2.2. Sostenibilidad: concepto y pilares

Autores como Damián et al. (2022 p.4), señalan que el uso indiscriminado al término sostenible ha generado un agotamiento de su acepción inicial ya que, según los mejores cánones del marketing futurista, hoy en día todo es sostenible, término que goza de buena aceptación social y está muy relacionado con todo aquello que perdure en el tiempo. Asimismo, los autores consideran el termino sostenible en su estudio como sustentable, ya que la aceptación actual de “sostenible” corresponde realmente al término “sustentable, además de su aspecto temporal, son importantes y conciernen a todos los seres vivos del planeta, en particular a los que tienen que ver con la vida humana y su relación con el pasado, el presente y el futuro de este.

En este orden de ideas la sustentabilidad, o desarrollo sostenible, se define como "aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades" (CMMAD, 1987, p. 24). Se asienta sobre tres pilares interdependientes que se abordan de forma integrada. En universidades, la sustentabilidad se manifiesta en la gestión de infraestructuras, investigación transdisciplinaria, educación y compromiso social. La Agenda 2030 y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU (2015) guían estos esfuerzos.

A continuación, se presenta los tres pilares fundamentales referidos por Damián et al. (2022, p.8)

- **Aspecto ambiental**: en el que se caracteriza el cuidado y la preservación de la biodiversidad.
- **Expansión social:** que se asocia al bienestar de las generaciones actuales y futuras.
- **Ámbito económico:** encaminado a la generación de riqueza con la pretensión de impulsar el crecimiento.

Se puede inferir que el concepto de sustentabilidad ha evolucionado y, aunque a menudo se usa indistintamente con "sostenible", su esencia radica en un equilibrio fundamental: satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las del futuro. Este principio, que se asienta sobre tres pilares interdependientes (el aspecto ambiental, la expansión social y el ámbito económico), va más allá de una simple moda, ya que su propósito es proteger el planeta y a sus habitantes a largo plazo. En contextos como el universitario, la sustentabilidad se traduce en acciones concretas, guiadas por marcos globales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, demostrando su relevancia en la toma de decisiones y la formación de futuras generaciones conscientes de su impacto en el mundo.

2.3. La universidad en la Agenda 2030 y la transición hacia economías circulares

Las universidades son fundamentales para la Agenda 2030, impactando directamente en ODS como Educación de Calidad (ODS 4) y Acción por el Clima (ODS 13) (Ferk Savec & Jedrinović, 2024; ONU, 2015). Actúan como catalizadores de innovación y transformación social, históricamente, las universidades han seguido un modelo de economía lineal ("extraer-producir-desechar"), insostenible (Giurea et al., 2024). La economía circular emerge como un nuevo paradigma, promoviendo sistemas de circuito cerrado para minimizar residuos y maximizar el valor de los recursos (Giurea et al., 2024). La universidad es ideal para implementar estos principios y servir de ejemplo.

En este orden de ideas, para una transformación efectiva, las universidades formalizan su compromiso con políticas de sostenibilidad y estructuras de gobernanza,

como la comisión Crue-Sostenibilidad en España (GESU, 2019). Este movimiento hacia la autoevaluación basada en datos crea el marco para la adopción de la IA. El campus universitario es un ecosistema complejo, análogo a una pequeña ciudad, ideal como "laboratorio viviente" para pilotar soluciones de sostenibilidad impulsadas por la IA con riesgo controlado (Giurea et al., 2024). La implementación exitosa de la IA en un campus proporciona una prueba de concepto aplicable a escala municipal, redefiniendo el papel de la universidad como socio estratégico en la transformación urbana inteligente.

2.4. La dualidad de la inteligencia artificial: potencial como habilitador de sostenibilidad y su huella ambiental

La IA es una tecnología de doble filo para la sostenibilidad: ofrece un potencial sin precedentes para optimizar sistemas, pero su desarrollo y despliegue conllevan una huella ambiental considerable (Ramírez Morán, 2025). Así los datos masivos, identifican patrones, realizan predicciones precisas y optimizan sistemas dinámicos en tiempo real. Esto permite un cambio de un enfoque ambiental reactivo a uno predictivo y proactivo, por ejemplo, pronosticando la demanda energética (Gao, 2025) o eventos de contaminación (Rahaman, 2025). Su rápido crecimiento puede encauzarse hacia el bien ambiental (IBM Institute for Business Value, 2024).

Es importante resaltar que la IA no es una tecnología "limpia" por defecto, ya que depende de una vasta infraestructura física y energética (Ramírez Morán, 2025). Sus principales componentes de huella son:

- **Consumo de energía:** el entrenamiento de modelos de IA y la operación de centros de datos requieren ingentes cantidades de electricidad, con proyecciones de duplicar el consumo mundial para 2030 (IBM Institute for Business Value, 2024).
- **Consumo de agua:** los centros de datos consumen grandes volúmenes de agua para refrigeración, crítico en regiones con estrés hídrico (Ramírez Morán, 2025).
- **Hardware y residuos electrónicos (RAEE):** La IA depende de hardware especializado cuya fabricación consume recursos y energía, contribuyendo al problema de los residuos electrónicos.
- **Geopolítica y la Economía de la IA Verde:** El impacto ambiental de la IA depende de la matriz energética de la región del centro de datos. El acceso a energía limpia

es una ventaja estratégica, y la industria de la IA requiere marcos regulatorios para una IA verde (Ramírez Morán, 2025).

Asimismo, es importante que el ahorro energético logrado por un sistema de IA supere la energía consumida en su desarrollo, entrenamiento y operación. Para ello, se debe adoptar un marco de "Impacto Ambiental Neto" (IAN), similar a un Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Un proyecto con IAN positivo es genuinamente sostenible. Las universidades son ideales para desarrollar y aplicar estos marcos, garantizando una implementación responsable y creando un nuevo campo de investigación.

A continuación, se presenta una tabla que resume las principales metodologías de Inteligencia Artificial / Machine Learning (IA/ML) discutidas en la literatura reciente sobre sostenibilidad en campus, sirviendo como referencia para las secciones posteriores.

Cuadro 1
Análisis comparativo de metodologías de IA/ML en aplicaciones de sostenibilidad en el campus

Metodología de IA/ML	Dominio(s) de aplicación(es)	Función y justificación	Autores/Estudios
Regresión LASSO	Eficiencia energética	Regresión regularizada para modelos predictivos de consumo energético, evitando sobreajuste y midiendo ahorros.	Fowlie et al. (2021)
Bosques Aleatorios (Random Forests)	Eficiencia energética	Método de aprendizaje por conjuntos para modelos de predicción energética.	Fowlie et al. (2021)
Redes Neuronales Convolucionales (CNN)	Clasificación de residuos, pronóstico energético, monitoreo ambiental	Algoritmo de aprendizaje profundo para analizar imágenes (residuos, datos energéticos, contaminación).	Lu & Chen (2022); Gao (2025); Rahaman (2025)
Redes Neuronales Recurrentes (RNN) / LSTM	Pronóstico energético, análisis de series temporales	Arquitecturas de aprendizaje profundo para datos secuenciales.	Gao (2025)

Modelos de Detección de Objetos (p. ej., R-CNN, YOLO)	Clasificación de residuos	Visión por computador para clasificar y localizar objetos en imágenes (clasificación robótica de residuos).	Lu & Chen (2022)
Máquinas de Vectores de Soporte (SVM)	Clasificación de residuos, calidad del agua	Algoritmo de aprendizaje supervisado para clasificación (residuos, calidad del agua).	Lu & Chen (2022)
Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) - Modelado de Tópicos / Análisis de Sentimientos	Análisis de políticas, pedagogía	IA para comprender lenguaje humano (análisis de políticas, sentimiento público, contenido educativo).	Ojadi et al. (2023); Nikolopoulou (2025)
IA Integrada con IoT	Monitoreo ambiental, contender's inteligentes	Combina sensores IoT con IA/ML para análisis en tiempo real, predicción y detección de anomalías (calidad aire/agua, niveles de residuos).	Rahaman (2025)

Fuente: Análisis de la literatura, con base en diferentes autores (2025)

El cuadro 1 destaca la implementación de diversas metodologías de Inteligencia Artificial (IA) y Machine Learning (ML) como pilares para la sostenibilidad en los campus universitarios. Se observa una fuerte inclinación hacia la eficiencia energética, donde algoritmos como la regresión LASSO y los Bosques Aleatorios (Fowlie et al. 2021), permiten la predicción precisa del consumo, optimizando el uso de recursos. Además, para la gestión de residuos y el monitoreo ambiental, las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y los Modelos de Detección de Objetos (Lu & Chen, 2022) se usan para la clasificación y el análisis de imágenes, mientras que las Redes Neuronales Recurrentes (RNN) (Gao, 2025) son clave para el pronóstico energético y el análisis de datos secuenciales.

Así mismo, se evidencia la importancia del Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) para la pedagogía y el análisis de políticas de sostenibilidad (Ojadi et al., 2023; Nikolopoulou, 2025), facilitando la comprensión del lenguaje humano en estos contextos.

La sinergia entre la IA y el Internet de las Cosas (IoT) (Rahaman, 2025), es crucial para el monitoreo ambiental en tiempo real y la gestión inteligente de la infraestructura, evidenciando una estrategia integral. En suma, las universidades están adoptando un enfoque multidisciplinario con IA/ML para enfrentar los retos de sostenibilidad, posicionándose como modelos de gestión eficiente y tecnológicamente avanzada.

2.5. Infraestructura inteligente: IA en la gestión de la energía y los recursos

La optimización de la infraestructura física del campus es un pilar fundamental para la sostenibilidad universitaria. La inteligencia artificial emerge como una herramienta crucial para lograrlo, ya que mejora la gestión energética con una precisión y fiabilidad sin precedentes. Mediante el análisis predictivo de patrones de consumo y la automatización de sistemas, la IA permite una asignación de recursos más eficiente, minimizando el desperdicio. Tal como señalan autores recientes, como Giurea et al. (2024), las universidades pueden convertirse en "laboratorios vivientes" donde la aplicación de la IA en la infraestructura no solo reduce costos operativos y la huella de carbono, sino que también sirve como modelo escalable para una gestión urbana más inteligente y sostenible, maximizando el uso de cada recurso.

2.6. Evaluación de la eficiencia energética: aprendizaje automático vs. métodos tradicionales

La "brecha de rendimiento" entre los ahorros de energía estimados y reales es un problema persistente (Fowlie et al., 2021). El ML ofrece una solución superior al construir modelos predictivos robustos usando datos de alta frecuencia de medidores inteligentes (Fowlie et al., 2021). Metodologías como LASSO pronostican el consumo contra factual y aíslan el efecto causal de las mejoras (Fowlie et al., 2021). Los estudios confirman que los ahorros reales varían entre el 24% y el 78% de las proyecciones (Fowlie et al., 2021).

Se puede inferir que la evaluación de la eficiencia energética es un desafío constante debido a la persistente brecha entre las estimaciones y los resultados reales. Sin embargo, el Aprendizaje Automático (ML), al utilizar datos de alta frecuencia de medidores inteligentes y algoritmos avanzados como LASSO, se presenta como una herramienta superior a los métodos tradicionales.

Asimismo, esta aproximación no solo crea modelos predictivos más precisos del consumo de energía, sino que también permite aislar el efecto causal de las mejoras implementadas, proporcionando una evaluación más exacta del rendimiento. En última instancia, la adopción de estas metodologías basadas en el ML es crucial para cerrar la brecha de rendimiento y obtener una comprensión más real y efectiva del impacto de las iniciativas de ahorro energético.

2.7. Gestión predictiva de la carga y optimización de sistemas

La IA revoluciona la gestión operativa en tiempo real de sistemas energéticos. Modelos de aprendizaje profundo pronostican la demanda energética con una precisión excepcional (Gao, 2025). El autor propone un enfoque de fusión multimodal para predecir la carga de refrigeración, crucial para la gestión energética de edificios con bajas emisiones. La gestión energética inteligente emplea diversos algoritmos de ML, incluyendo SVM, Bosques Aleatorios, árboles de decisión, CNN y LSTM. Modelos híbridos de IA combinan Redes Neuronales Artificiales con Algoritmos Genéticos para optimizar estrategias operativas y minimizar el consumo de energía.

2.8. Financiación de proyectos de sostenibilidad a gran escala

La capacidad del ML para la medición, reporte y verificación (MRV) del ahorro energético transforma la financiación de proyectos de sostenibilidad. Al cuantificar los ahorros reales de forma robusta el ML reduce el riesgo de inversión, haciendo los proyectos bancables (Fowlie et al., 2021). Esto permite a las universidades atraer financiación de terceros mediante Contratos de Rendimiento Energético (ESPC) o bonos verdes, donde el retorno se basa en ahorros verificados. Así, la IA se convierte en un instrumento financiero estratégico para la descarbonización a gran escala del campus.

2.9. El campus circular: IA en la gestión de residuos y materiales

La aspiración de un campus circular se centra en la profunda transformación de los residuos, concibiéndolos no como desechos, sino como recursos valiosos. En esta transición fundamental hacia una economía circular, la inteligencia artificial (IA), se erige como un pilar esencial, particularmente a través de la visión por computador. Esta tecnología es clave para automatizar y optimizar la gestión de materiales, permitiendo una

clasificación y segregación más precisa de los residuos, lo que a su vez maximiza su potencial de reutilización y reciclaje. Como señalan Lu & Chen (2022), la IA con visión por computador facilita la identificación automática de distintos tipos de materiales, reduciendo el error humano y acelerando los procesos de recuperación, llevando al campus un paso más cerca de cerrar sus ciclos de materiales.

2.10. Clasificación y caracterización automatizada de residuos con visión por computador

La clasificación manual de residuos es ineficiente y peligrosa, llevando a la contaminación de materiales reciclables (Giurea et al., 2024). La visión por computador (CV), ofrece una solución potente para la identificación y segregación automatizada (Lu & Chen, 2022). El proceso incluye: adquisición de imágenes, detección y clasificación de objetos con algoritmos de aprendizaje profundo (CNN, R-CNN, YOLO), y actuación robótica para la segregación (Lu & Chen, 2022). Universidades como UMass Amherst ya implementan sistemas de clasificación automatizada impulsados por IA (Bio-IT World, 2025). Otros proyectos proponen "contenedores inteligentes" con CV para diferenciar residuos orgánicos e inorgánicos.

2.11. El papel ampliado de la IA en la economía circular

La IA va más allá de la clasificación de residuos. Puede optimizar propiedades de materiales reciclados, como el HDPE, mejorando su durabilidad y sostenibilidad (Bio-IT World, 2025). La visión de la Industria 4.0 integra CV, robótica y sensores IoT en un sistema de gestión de residuos de extremo a extremo, donde los algoritmos de IA analizan macrodatos para optimizar toda la cadena de valor (Giurea et al., 2024).

La implementación exitosa requiere políticas universitarias de apoyo, como planes de "Residuo Cero" y campañas educativas (Giurea et al., 2024). La clasificación de residuos impulsada por IA genera datos granulares sobre patrones de consumo, permitiendo a la universidad tomar decisiones informadas sobre compras sostenibles y colaborar con proveedores para diseños más sostenibles (Lu & Chen, 2022). Esto convierte la IA en una herramienta estratégica para la intervención "aguas arriba" en la cadena de suministro.

2.12. Inteligencia artificial en el monitoreo de la calidad ambiental

La protección y mejora del ecosistema universitario es crucial para un campus sostenible. La inteligencia artificial, en conjunto con sensores inteligentes, permite una gestión ambiental proactiva y predictiva, superando las limitaciones de los métodos tradicionales, que suelen ser lentos y costosos (Rahaman, 2025). Los Sistemas Inteligentes de Monitoreo Ambiental (SEMS) encarnan este cambio de paradigma al integrar sensores IoT para la recopilación de datos en tiempo real, algoritmos de IA/ML para análisis y predicción, y plataformas en la nube para almacenamiento y visualización (Rahaman, 2025).

Asimismo, esta sinergia transforma la gestión hídrica, con sensores IoT monitoreando parámetros clave de forma continua y algoritmos de Machine Learning pronosticando tendencias y detectando anomalías, lo que permite respuestas rápidas. La investigación avanza hacia el uso de sensores espectroscópicos con IA para la detección sin contacto de contaminantes y la verificación de tratamientos. De manera similar, la calidad del aire en el campus se gestiona proactivamente mediante redes de sensores inalámbricos que monitorean contaminantes en tiempo real. Los modelos de IA utilizan estos datos, combinados con información meteorológica, para pronosticar la contaminación, lo que facilita la emisión de alertas y la mitigación de las fuentes (Rahaman, 2025).

2.13. Inteligencia artificial para la pedagogía y la política de sostenibilidad

La transición hacia un campus verdaderamente sostenible no solo depende de la infraestructura tecnológica, sino también de una profunda transformación en las esferas humana e institucional. En este sentido, la IA juega un papel fundamental al moldear tanto la enseñanza y el aprendizaje sobre sostenibilidad como la formulación y evaluación de políticas. Al integrar la IA en los programas educativos, las universidades pueden ofrecer experiencias de aprendizaje más personalizadas y adaptativas, fomentando una comprensión más profunda de los desafíos de la sostenibilidad y equipando a los estudiantes con las habilidades necesarias para enfrentarlos.

En este contexto, autores como Nikolopoulou (2025) y Ojadi et al. (2023), exploran cómo el Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN), una rama de la IA, puede analizar grandes volúmenes de texto para identificar tendencias en políticas, evaluar el sentimiento público hacia iniciativas sostenibles y personalizar el contenido educativo. Esto no solo mejora la efectividad de la educación en sostenibilidad, sino que también optimiza el

desarrollo y la implementación de políticas institucionales, al permitir un análisis de datos más sofisticado para la toma de decisiones informadas y transparentes. La IA, por tanto, se convierte en un habilitador clave para cultivar una cultura de sostenibilidad arraigada en el conocimiento y la acción colectiva dentro de la comunidad universitaria.

2.14. La IA en la educación para el desarrollo sostenible (EDS)

La integración de la sostenibilidad en los planes de estudio universitarios enfrenta barreras (Aznar et al., 2011). La alfabetización en IA es una competencia esencial para abordar problemas de sostenibilidad (Tyni & Lakkala, 2024). Cabe destacar que, la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) mejora la pedagogía de la sostenibilidad (Nikolopoulou, 2025).Sus aplicaciones incluyen: aprendizaje personalizado (Nikolopoulou, 2025), creación de contenido didáctico (Nikolopoulou, 2025) y asistencia a la investigación (Nikolopoulou, 2025).

Este enfoque se alinea con las "transiciones gemelas" (transformación digital y verde). La educación superior debe formar profesionales para este nuevo paradigma (Ferk Savec & Jedrinović, 2024). Un estudio encontró que la IA impacta positivamente en 11 ODS (Ferk Savec & Jedrinović, 2024). Sin embargo, el uso de la IA en educación conlleva riesgos como el plagio y la difusión de información errónea.

2.15. Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) para el análisis de políticas

El Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) permite a las computadoras comprender y generar lenguaje humano. Esta tecnología analiza grandes volúmenes de datos textuales de universidades y organismos públicos (Ojadi et al., 2023). Sus aplicaciones en sostenibilidad universitaria incluyen: evaluación de políticas (Ojadi et al., 2023), análisis de informes de sostenibilidad universitarios (GESU, 2019) y medición del sentimiento de la comunidad (Ojadi et al., 2023).

Se puede inferir que la combinación de estas aplicaciones de IA en pedagogía y análisis de políticas dota a las universidades de un mecanismo para la autorreflexión institucional y el alineamiento estratégico. Mediante PLN, una institución puede auditar lingüísticamente su corpus documental para identificar y cuantificar el "contenido de

sostenibilidad" (Ojadi et al., 2023), permitiendo a los directivos plantearse preguntas críticas sobre la coherencia entre el discurso y la práctica. Esto crea un bucle de retroalimentación continuo y basado en datos para la estrategia institucional.

2.16. Síntesis, desafíos y trayectorias futuras

Síntesis de hallazgos clave

Este informe ha explorado el papel multifacético de la IA como catalizador de la sostenibilidad universitaria. La IA permite pasar de una gestión estática a una dinámica, predictiva y optimizada. La unificación conceptual es la "cadena de valor del dato": sensores IoT (sistema nervioso), IA (cerebro) y robótica/sistemas de control (sistema motor). Es crucial adoptar una perspectiva equilibrada, reconociendo la huella ambiental de la IA (Ramírez Morán, 2025). El concepto de "Impacto Ambiental Neto" debe ser una piedra angular, asegurando que cada implementación de IA para la sostenibilidad genere un beneficio ecológico que supere sus costos. Por todo lo antes señalado, la universidad debe liderar el desarrollo de una IA responsable y verde.

Desafíos transversales y estrategias de mitigación

La materialización de esta visión enfrenta desafíos que requieren estrategias proactivas:

- **Infraestructura y datos:** la IA depende de datos de alta calidad, requiriendo inversiones en medidores inteligentes y redes de sensores (Fowlie et al., 2021).
- **Costos e inversión:** el alto costo inicial de los sistemas de IA es una barrera, superable con modelos de financiación innovadores como ESPC o bonos verdes.
- **Competencias y capital humano:** se requiere una nueva generación de profesionales interdisciplinarios, exigiendo reforma curricular y desarrollo profesional (Tyni & Lakkala, 2024).
- **Ética y sesgo algorítmico:** el despliegue de la IA plantea cuestiones éticas sobre privacidad y equidad, requiriendo marcos éticos y de gobernanza sólidos (Ferk Savec & Jedrinović, 2024; Ojadi et al., 2023).

Propuesta de marco integrado para la implementación

Se propone un marco de implementación holístico a nivel universitario:

- Establecer un centro de "IA para la sostenibilidad" para coordinar investigación y políticas.
- Priorizar proyectos basados en una evaluación rigurosa del "Impacto Ambiental Neto".
- Desarrollar una hoja de ruta para la infraestructura de datos.

Direcciones futuras de investigación

El campo de la IA para la sostenibilidad está en evolución. Futuras líneas de investigación deben centrarse en:

- **IA Verde (*Green AI*):** desarrollo de algoritmos y hardware energéticamente eficientes (Ramírez Morán, 2025).
- **Integración transdisciplinaria:** colaboración entre informáticos, ingenieros, científicos ambientales, sociales y humanistas.
- **Escalabilidad y transferibilidad:** adaptar y escalar soluciones de campus a municipios y sectores industriales.
- **Estudios longitudinales:** medir el impacto real y las consecuencias de la IA en la sostenibilidad del campus a largo plazo.

3. CONSIDERACIONES FINALES

La inteligencia artificial, a través de sus componentes fundamentales, es indispensable para el avance de la sustentabilidad/sostenibilidad en las universidades. Estos algoritmos permiten una gestión sin precedentes de los recursos, desde la optimización energética y la gestión inteligente de residuos hasta el monitoreo ambiental y el desarrollo de políticas informadas. Al integrar la IA, las universidades mejoran su eficiencia operativa y reducen su huella ecológica, fortaleciendo su rol como centros de investigación, innovación y educación para un futuro más sostenible.

La visión es la del campus algorítmico: un ecosistema dinámico, auto-optimizado y resiliente que funciona como un laboratorio viviente para las soluciones que la sociedad necesita. Este campus no solo minimiza su propia huella ambiental, sino que impulsa la

innovación para la sostenibilidad global. La aplicación responsable de la IA en los campus demuestra que la tecnología, guiada por un propósito de sostenibilidad y bienestar humano, es una aliada poderosa en la búsqueda de la sustentabilidad global. La universidad del siglo XXI tiene la oportunidad y la responsabilidad de liderar este camino, demostrando que la inteligencia artificial puede construir un mundo mejor.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aznar, P., Martínez-Agut, M. P., Piñero, A. & Ull, A. (2011). La sostenibilidad en la formación universitaria: Retos y oportunidades. *Educatio Siglo XXI, 29*(1), 133-158. doi: 10.5944/educxx1.17.1.10708

Bio-IT World. (2025, 3 de abril). *AI innovations in laboratory waste management as UMass and Cornell researchers advance recycling and sustainable plastics*. [Comunicado de prensa].

Cabanelas, J. (2019). *Inteligencia Artificial: fundamentos y aplicaciones*.

Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD). (1987). *Nuestro Futuro Común* (Informe Brundtland). Oxford University Press.

Damián, C. Hernández, A. Garzòn, J. y Bellón, D. (2022). Desde la sostenibilidad hasta el desarrollo sustentable: Una radiografía de la evolución del concepto. DOI: https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.200

Ferk Savec, V., & Jedrinović, S. (2024). The role of AI implementation in higher education in achieving sustainable development goals: A case study. *Sustainability, 17*(1), 183. https://doi.org/10.3390/su17010183

Fowlie, M., Greenstone, M., & Wolfram, C. (2021). Machine learning for energy efficiency. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, *8*(3), 535–571. https://doi.org/10.1086/710606

Gao, D. (2025). A deep learning approach for energy management systems in smart buildings towards a low-carbon economy. *International Journal of Low-Carbon Technologies, 20*, 1136–1142. https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaf063

Giurea, R., Carnevale Miino, M., Torretta, V., & Rada, E. C. (2024). Sustainable and circular waste management systems in universities: A systematic review. *Frontiers in Environmental Science, 12*, 1363024. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1363024

Grupo de Trabajo de Evaluación de la Sostenibilidad Universitaria (GESU). (2019). *Informe sobre la evaluación de la sostenibilidad en las universidades españolas 2019*. Crue Universidades Españolas.

IBM Institute for Business Value (2024). *The future of AI and energy efficiency*. IBM.

Lu, W., & Chen, J. (2022). Computer vision for solid waste sorting: A critical review of academic research. *Waste Management, 142*, 29-43. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.014

Nikolopoulou, K. (2025). Generative artificial intelligence and sustainable higher education: Mapping the potential. *Journal of Digital Educational Technology, 5*(1), 1-17. https://www.jdet.net/article/generative-artificial-intelligence-and-sustainable-higher-education-mapping-the-potential-15860

Ojadi, J., Onukwulu, E. C., Odionu, C., & Owulade, O. A. (2023). *Natural Language Processing for Climate Change Policy Analysis and Public Sentiment Prediction: A Data-Driven Approach to Sustainable Decision-Making*. *IRE Journals, 7,* 731-751. https://www.irejournals.com/formatedpaper/1705008.pdf

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.

Porcelli, A. (2020). La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos. Derecho global. Estudios sobre derecho y justicia, 6(16), 49-105. Epub 27 de enero de 2021.https://doi.org/10.32870/dgedj.v6i16.286

Rahaman, T. (2025, febrero). Smart environmental monitoring systems for air and water quality management. *American Journal of Advanced Scientific Research, 4*(2).

Ramírez Morán, D. (2025, junio). *La huella medioambiental de la IA*. Documento de Análisis IEEE, 07/2025.

Tyni, H., & Lakkala, M. (2024). Promoting AI literacy in sustainable development within higher education. *Frontiers in Education, 9*, 1343406. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1343406