Use of Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) tools to support waste management in universities: a systematic review

Zeyna Isabel Sabillón Godoy[1], Gabriel Alberto Villanueva Barrientos[2], Rodrigo José Claire Pineda[3], Gladys Iveth Flores Solorzano[4]
[1, 2, 3, 4]Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras, zeyna.sabillon@unah.hn, gabriel.villanueva@unah.hn, rodrigo.clare@unah.hn, gladys.flores@unah.edu.hn

Abstract - This systematic literature review (SLR) aims to analyze the use of Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) in waste management within universities, as well as to identify their main applications, benefits, and limitations. The study examines scientific literature published between 2015 and 2026 using major academic databases. A total of 146 articles were initially identified, from which 24 studies met the established eligibility criteria. The findings show that these technologies improve waste management through waste generation prediction, automated classification, and optimization of collection routes. They also enhance operational efficiency and decision-making. However, challenges related to implementation costs, data dependency, and technological complexity remain.Overall, the study highlights the potential of AI and IoT to support more efficient, sustainable, and data-driven waste management systems in universities.

Keywords: Artificial Intelligence, Internet of Things, Waste Management, Universities, Sustainability

Uso de herramientas de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT) para apoyar la gestión de residuos en universidades: una revisión sistemática

Zeyna Isabel Sabillón Godoy[1], Gabriel Alberto Villanueva Barrientos[2], Rodrigo José Claire Pineda[3], Gladys Iveth Flores Solorzano[4]
[1, 2, 3, 4]Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras, zeyna.sabillon@unah.hn, gabriel.villanueva@unah.hn, rodrigo.clare@unah.hn, gladys.flores@unah.edu.hn

Resumen - La presente revisión sistemática de literatura (RSL) tiene como objetivo analizar el uso de herramientas de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de residuos en universidades, así como identificar sus principales aplicaciones, beneficios y limitaciones. El estudio considera literatura científica publicada entre 2015 y 2026 en bases de datos académicas, donde se identificaron 146 artículos, de los cuales 24 cumplieron con los criterios de elegibilidad. Los resultados evidencian que estas tecnologías mejoran la gestión de residuos mediante la predicción de generación, la clasificación automatizada y la optimización de rutas de recolección. Asimismo, contribuyen a una mayor eficiencia operativa y mejor toma de decisiones. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con los costos de implementación, la dependencia de datos y la complejidad tecnológica. En síntesis, el estudio destaca el potencial de la IA y el IoT para impulsar sistemas de gestión de residuos más eficientes, sostenibles y basados en datos en el contexto universitario.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas, Gestión de residuos, Universidades, Sostenibilidad

I. INTRODUCCIÓN

Gestión de residuos en entornos universitarios

La gestión de residuos en el ámbito universitario se articula como un desafío crítico debido a que estas instituciones funcionan como "mini-ciudades" con alta densidad poblacional y diversidad de actividades. Esta condición implica la generación de distintos tipos de desechos que requieren planificación técnica y una estructura organizativa adecuada para su manejo eficiente y seguro [1]

Un proceso fundamental dentro de estos sistemas es la caracterización de residuos, ya que permite identificar la cantidad y composición de los desechos generados, proporcionando información clave para la planificación de programas de reciclaje y la toma de decisiones ambientales [2], [3]. Asimismo, la gestión de residuos se fundamenta en el modelo de las 3R: reducir, reutilizar y reciclar, orientado a minimizar el impacto ambiental mediante la disminución en la generación de desechos y el aprovechamiento de materiales [3].

En los campus universitarios se generan diferentes tipos de residuos, entre ellos residuos sólidos urbanos como papel, plástico, vidrio y metales [4], residuos orgánicos provenientes de cafeterías y áreas verdes [5], así como residuos químicos de laboratorio y residuos biológico-infecciosos que requieren protocolos especiales de manejo [6], [7]. Su manejo adecuado se basa en la segregación en la fuente mediante contenedores diferenciados y procedimientos institucionales de clasificación [3], [8]

Limitaciones actuales en la gestión de residuos universitarios

A pesar de estos fundamentos, la gestión de residuos en universidades presenta limitaciones relacionadas con la falta de información sistematizada, dificultades para mantener procesos consistentes de clasificación y dependencia de procesos manuales de supervisión y registro [3]. Estas condiciones reducen la capacidad institucional para monitorear la generación de residuos y optimizar la toma de decisiones, evidenciando una brecha operativa y tecnológica en los modelos tradicionales de gestión.

Inteligencia Artificial como solución emergente

Antes de ver sus aplicaciones, es importante entender tres conceptos clave. En este contexto, la tecnología es todo lo que permite que el sistema funcione, como los sensores que miden el nivel de basura, los dispositivos que envían la información y las plataformas en la nube donde se guardan los datos[9]. El algoritmo es el conjunto de pasos o reglas que usan esos datos para analizarlos y resolver problemas, como predecir cuándo se llenará un contenedor o clasificar los residuos. Finalmente, el modelo es el resultado de usar esos algoritmos con los datos, por ejemplo una red neuronal ya entrenada, que es la que hace las predicciones o clasificaciones con cierto nivel de precisión[10].

La literatura reciente plantea la incorporación de Inteligencia Artificial para mejorar la gestión de residuos en universidades mediante el análisis automatizado de datos. El Machine Learning permite identificar patrones relacionados con la generación de residuos mediante modelos como regresión lineal y Random Forest [11].

Asimismo, las Redes Neuronales Artificiales permiten modelar relaciones complejas entre variables, mientras que el Deep Learning, a través de Redes Neuronales Convolucionales, se utiliza para la clasificación automatizada de residuos mediante reconocimiento visual[12]. Tecnologías como ResNet, VGG y DenseNet han sido aplicadas en estos sistemas de clasificación, junto con modelos de detección en tiempo real como ThingSpeak [12], [13]

IoT y optimización logística

El Internet de las Cosas permite conectar dispositivos físicos con plataformas digitales para monitorear sistemas de gestión de residuos en tiempo real [9]. Un ejemplo de esta aplicación son los contenedores inteligentes, que incorporan sensores para medir variables como el nivel de llenado y transmitir esta información a plataformas digitales para mejorar la planificación de la recolección [6], [14].

La integración de sensores con algoritmos de optimización también permite mejorar la planificación de rutas de recolección y la gestión de recursos en los sistemas de transporte de residuos [14].

Síntesis teórica

La literatura señala que los sistemas tradicionales de gestión de residuos en universidades presentan limitaciones relacionadas con la disponibilidad de datos, la eficiencia en la clasificación y el monitoreo de los procesos. Estas limitaciones han impulsado el uso de tecnologías como la Inteligencia Artificial y el Internet de las Cosas para mejorar el análisis de información, automatizar procesos y optimizar la gestión de residuos.

En este contexto, la presente investigación busca identificar aplicaciones de inteligencia artificial utilizadas en la gestión ambiental universitaria, comparar los enfoques, métricas y limitaciones reportadas en la literatura reciente.

II. METODOLOGÍA

Enfoque metodológico

La presente investigación se plantea bajo un enfoque cualitativo de tipo documental, con un alcance descriptivo y analítico, orientado a examinar el uso de herramientas de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de residuos dentro del contexto universitario. A través de este enfoque, se busca identificar y analizar las diferentes aplicaciones tecnológicas reportadas en la literatura científica, así como sus principales resultados, métricas de desempeño y limitaciones.

Diseño de investigación

El diseño metodológico corresponde a una revisión sistemática de literatura, orientada a recopilar, organizar y analizar información científica relevante sobre el uso de herramientas de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de residuos en universidades. Este diseño permite estructurar de manera ordenada el proceso de búsqueda, selección y análisis de los estudios, garantizando un abordaje riguroso y coherente con los objetivos de la investigación.

Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda se fundamenta en la consulta de bases de datos académicas de alto impacto, tales como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Para ello, se emplea una ecuación de búsqueda estructurada que integra términos relacionados con la Inteligencia Artificial, el contexto universitario y la gestión ambiental: ("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "intelligent systems") AND (university OR "higher education") AND ("environmental management" OR "waste management" OR sustainability OR "resource efficiency"). Esta combinación permite abarcar diferentes enfoques tecnológicos y aplicaciones en el ámbito de la gestión de residuos en universidades.

TABLA I
Criterios de Inclusión y Exclusión

Inclusion	
CI1	Artículos científicos publicados en revistas arbitradas.
CI2	Estudios que aborden la implementación de herramientas de Inteligencia Artificial y/o Internet de las Cosas en la gestión de residuos.
CI3	Investigaciones desarrolladas en universidades o contextos similares con potencial de adaptación al entorno universitario.
CI4	Publicaciones comprendidas en el periodo de 2015 a 2026, en concordancia con el alcance temporal de la investigación.
CI5	Estudios que presenten resultados, métricas de desempeño o aplicaciones prácticas relevantes
Exclusión	
CE1	Documentos duplicados en distintas bases de datos.
CE2	Investigaciones que, aunque empleen herramientas de Inteligencia Artificial, estén enfocadas en otros ámbitos como energía, salud, transporte u otras aplicaciones no relacionadas con la gestión de residuos.
CE3	Estudios que no aborden directamente la integración de tecnologías de Inteligencia Artificial o Internet de las Cosas en la gestión de residuos.
CE4	Investigaciones que no se desarrollen en instituciones de educación superior ni en contextos comparables, limitando su aplicabilidad al ámbito universitario.
CE5	Artículos que no presenten resultados claros o aplicaciones prácticas que permitan su análisis dentro del contexto de la investigación.

Proceso de selección

La Fig. 1 muestra el proceso de selección de artículos mediante un diagrama de flujo basado en el esquema PRISMA[15]. En primer lugar, se realizó la identificación de registros a través de cuatro bases de datos, obteniéndose un total de 146 artículos. En esta etapa, se eliminaron 9 registros duplicados y 3 registros por otros motivos, resultando en 134 registros para el proceso de análisis.

En la segunda fase, correspondiente al cribado, se llevó a cabo la revisión de títulos y resúmenes de los 134 registros identificados, lo que permitió excluir 80 artículos que no cumplían con los criterios establecidos de la investigación. Posteriormente, se seleccionaron 54 estudios para su recuperación, sin registrarse pérdidas en esta etapa (informes no recuperados = 0).

En la fase de elegibilidad, se evaluaron a texto completo los 54 artículos seleccionados, con el fin de verificar su pertinencia y calidad metodológica. En este proceso, se excluyeron 30 estudios que no cumplían con los criterios definidos en la Tabla I, distribuidos de la siguiente manera: 14 investigaciones enfocadas en ámbitos distintos a la gestión de residuos (CE2),

5 estudios que no integraban tecnologías de Inteligencia Artificial o Internet de las Cosas en la gestión de residuos (CE3), y 11 investigaciones que no se desarrollaban en contextos de educación superior o entornos comparables (CE4).

Finalmente, como resultado del proceso de selección, se incluyeron 24 artículos para su análisis dentro de la revisión sistemática.

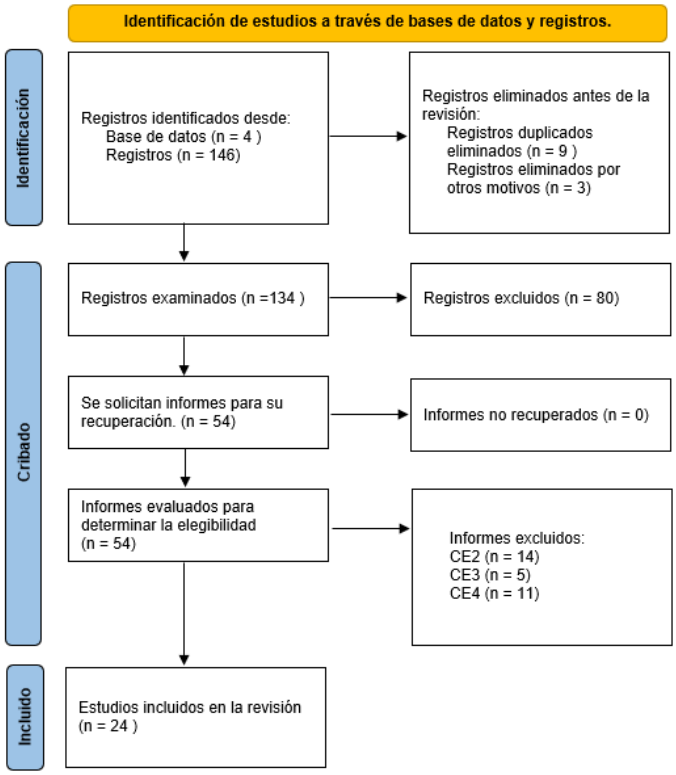


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA
Adaptado de https://www.prisma-statement.org/prisma-2020

Extracción y análisis de información

Para cada estudio seleccionado, se realizó una extracción sistemática de información relevante, considerando variables como el tipo de tecnología utilizada (IA, IoT, etc), los algoritmos y modelos implementados, el tipo de aplicación (clasificación, predicción u optimización), las métricas de desempeño reportadas, así como los beneficios y limitaciones identificadas.

Análisis de viabilidad contextual

Finalmente, se interpretan los hallazgos obtenidos considerando su posible aplicación en el contexto de las Universidades. Para ello, se contemplan factores como los requerimientos tecnológicos, la complejidad de implementación, y la adaptabilidad de las soluciones a las condiciones institucionales. Este análisis busca orientar la identificación de alternativas viables que puedan ser consideradas en futuros procesos de mejora de la gestión de residuos en entornos universitarios.

III. RESULTADOS

En la Fig. 2, se muestra la red de co-ocurrencia de términos generada a partir del análisis bibliométrico de los artículos identificados en la búsqueda. Entre los términos más destacados se encuentran artificial intelligence y machine learning, los cuales presentan una alta centralidad dentro de la red, evidenciando su papel fundamental en la investigación relacionada con la gestión de residuos. Asimismo, el término sustainability aparece vinculado con conceptos como waste management, circular economy y waste recycling, lo que indica una orientación significativa hacia la sostenibilidad ambiental en los estudios analizados. Por su parte, términos como internet of things y smart cities reflejan la integración de tecnologías emergentes en la optimización de los sistemas de gestión de residuos. En el ámbito técnico, destacan conceptos como deep learning, image processing y artificial neural networks, los cuales evidencian el uso de técnicas avanzadas para la clasificación y análisis de residuos. Finalmente, la presencia de términos como higher education y university confirma el interés en la aplicación de estas tecnologías en entornos universitarios, reforzando la pertinencia del estudio en este contexto.

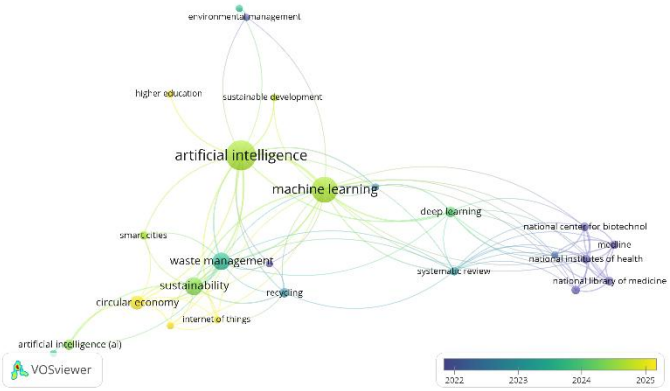


Fig. 2 Red de co-ocurrencia: Incidencia de palabras clave

La revisión de la literatura permitió identificar múltiples aplicaciones de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT) implementadas en universidades para mejorar la gestión de residuos. Estas aplicaciones se concentran principalmente en tres áreas: predicción de generación de residuos mediante aprendizaje automático, clasificación automatizada de materiales mediante visión artificial y optimización logística mediante sensores inteligentes y algoritmos de rutas. A continuación, se presentan las universidades que han aplicado estas tecnologías en la gestión de residuos dentro de sus campus.

Ton Duc Thang University (Vietnam)

En la Ton Duc Thang University en Vietnam, se desarrolló un sistema de gestión de residuos basado en la integración de Internet de las Cosas (IoT) y Aprendizaje Automático en un campus de 30 hectáreas. El estudio de gestión de residuos abarca 13 edificios principales (identificados con las letras de la A a la M), los cuales funcionan como nodos dentro de su red

de recolección. El sistema utiliza sensores ultrasónicos conectados a nodos que transmiten información mediante tecnología LoRa E32, mientras que el módulo ESP8266 funciona como puerta de enlace para enviar los datos a la nube [16].

A partir de esta infraestructura se implementó un modelo de Regresión Logística (LR) que predice la probabilidad de que un contenedor esté lleno utilizando como variable predictora el número de clases programadas en cada edificio, bajo el supuesto de que un mayor número de estudiantes genera una mayor cantidad de residuos. El modelo utilizó como variable el número de clases en cada edificio para estimar qué contenedores se llenarían. El sistema alcanzó un AUC de 0.99 (indicador que mide qué tan preciso es el modelo en una escala de 0 a 1, donde 1 es perfecto), lo que significa que tiene una capacidad casi perfecta para diferenciar entre contenedores llenos y vacíos. Este resultado se representa mediante la curva ROC (gráfico que muestra qué tan bien el modelo acierta al identificar casos correctos y evita errores), la cual confirma que el sistema detecta correctamente los contenedores que requieren recolección sin generar falsas alertas [16].

En la práctica, esto permite que el personal no tenga que revisar todos los botes, sino que pueda dirigirse directamente a los que realmente están llenos, optimizando el tiempo, las rutas de recolección y el uso de recursos. El sistema también calculó probabilidades específicas de requerir recolección según el nivel de actividad académica de cada edificio; por ejemplo, en un lunes típico el "Edificio A" presentó una probabilidad del 91% de requerir recolección, el "edificio B" una probabilidad del 99%, el "Edificio I" un 72% y el "Edificio J" un 10%. Con base en estas predicciones, se aplicó el algoritmo de Dijkstra para calcular la ruta más corta entre los contenedores clasificados con niveles de llenado medio o alto. Esta estrategia permite actualizar diariamente las rutas de recolección, evitando visitar contenedores con niveles bajos de llenado y optimizando el uso de tiempo y recursos laborales. Además, el sistema incorpora una aplicación móvil que muestra el nivel de llenado estimado mediante códigos de color; por ejemplo, niveles entre 81% y 100%, y traza la ruta óptima de recolección entre los edificios del campus [16].

University of Mauritius (Mauricio)

En la University of Mauritius en Mauricio, investigadores desarrollaron un sistema de gestión inteligente de residuos que integra Internet de las Cosas y aprendizaje automático para el monitoreo de contenedores en tiempo real. El sistema permite recopilar datos sobre el estado de los depósitos y utilizar modelos predictivos para anticipar cuándo será necesario realizar la recolección [17].

Los resultados muestran que esta integración tecnológica facilita la toma de decisiones proactivas dentro de la institución, permitiendo planificar la gestión de residuos antes de que se produzcan desbordamientos en los contenedores. Aunque las fuentes bibliográficas disponibles destacan la efectividad del sistema para la toma de decisiones y el monitoreo continuo, no se reportan tablas de precisión numérica específicas dentro de los extractos analizados [17].

University of Mysore (India)

En la University of Mysore en India se desarrolló un sistema de gestión de residuos basado en IoT y aprendizaje automático. El sistema clasificó los residuos en orgánicos, generales y reciclables, registrando una generación diaria de 20 a 30 kg, con picos cercanos a 50 kg, y acumulando aproximadamente 16,000 kg por cada tipo de residuo en un periodo de un año; además, en algunas aulas se superaron los 800 kg y los contenedores generan alertas al alcanzar entre el 80% y 100% de su capacidad [18].

El sistema evaluó cinco algoritmos diferentes utilizando distintas proporciones de división entre datos de entrenamiento y prueba. Los modelos Random Forest, KNN y SVM lograron valores de 1.00 en todos los indicadores evaluados, lo que refleja un desempeño perfecto en la clasificación de residuos. En este contexto, la precisión global o accuracy (porcentaje total de aciertos del modelo sobre todos los datos analizados) indica que el sistema clasificó correctamente todos los residuos sin cometer errores. La precisión o precision (nivel de exactitud cuando el modelo predice una categoría específica) muestra que cada vez que el sistema identificó un tipo de residuo, como reciclable, siempre fue correcto, sin generar falsas alarmas [18].

Por su parte, la sensibilidad o recall (capacidad del modelo para detectar todos los casos reales de cada categoría) confirma que el sistema no omitió ningún residuo, es decir, logró identificar todos los elementos presentes sin dejar ninguno sin clasificar correctamente. Finalmente, la puntuación F1 (medida que combina precisión y sensibilidad para evaluar el equilibrio del modelo) también alcanzó un valor de 1.00, lo que indica que el sistema no solo fue exacto, sino también completo en sus predicciones, sin errores ni omisiones en el proceso de clasificación [18].

Las Redes Neuronales Artificiales (ANN) presentaron un rendimiento ligeramente inferior pero igualmente alto, con valores de precisión que variaron entre 0.973 y 1.00 dependiendo de la división de datos utilizada. El modelo Naive Bayes fue el que mostró el menor rendimiento dentro del estudio, aunque sus resultados generalmente se mantuvieron por encima de 0.93. Además, el sistema incorpora sensores para priorizar la recolección y un módulo de optimización de rutas basado en datos de generación de residuos y condiciones de tráfico, así como un análisis predictivo según el día de la semana y el departamento académico [18].

Universidad de la Amazonia (Colombia)

En la Universidad de la Amazonia en Colombia se desarrolló un contenedor inteligente con un sistema de clasificación automática de botellas reciclables basado en una red neuronal artificial de tipo perceptrón multicapa entrenada mediante el algoritmo Levenberg–Marquardt. El estudio se realizó en sus dos campus principales, Porvenir y Centro, los cuales concentran una población aproximada de 11,090 personas entre

estudiantes, docentes y personal administrativo, y cuentan con 16 cafeterías que representan los principales puntos de generación de residuos [19].

En las pruebas del modelo se logró un reconocimiento visual del 99% en la identificación de botellas frente a otros residuos. Como parte del diagnóstico, se estimó una generación anual de 560,112 botellas en el campus Porvenir y 235,728 en el campus Centro, para un total aproximado de 795,840 botellas al año, equivalentes a cerca de 22,156 kg de plástico. Asimismo, se registró la recolección de 462 kg de botellas plásticas por semana, con una generación diaria de 66 kg y mensual de 1,846 kg. El contenedor inteligente desarrollado tiene capacidad para almacenar entre 304 y 310 botellas PET antes de requerir vaciado [19].

Además, aunque el plástico fue el principal residuo analizado, también se identificaron otros materiales como vidrio, latas y cartón, lo que evidencia el potencial de implementar sistemas automatizados para optimizar el reciclaje dentro del campus [19].

Universidad Tecnológica Israel (Ecuador)

En la Universidad Tecnológica Israel en Ecuador, ubicada en la ciudad de Quito, se desarrolló un sistema de clasificación de residuos mediante visión artificial dentro de la carrera de Sistemas de Información, dirigido a una población aproximada de 800 estudiantes. Para las pruebas del sistema se utilizó una muestra de 24 estudiantes de informática [20].

Aunque no se especifica la cantidad total de residuos generados, el diagnóstico institucional identificó cuatro tipos principales: residuos de alimentos, papel y plástico, residuos de construcción y vidrio. En este contexto, se evaluaron distintos modelos de aprendizaje profundo para automatizar la clasificación de residuos a partir de imágenes capturadas por sensores ópticos. El modelo DenseNet121 fue el que presentó el mejor desempeño, alcanzando un 80% de precisión en entrenamiento y 86% en validación en una primera fase, y mejorando hasta un 92% en entrenamiento y 88% en validación tras un proceso de ajuste fino [20].

Por su parte, el modelo VGG-16 también alcanzó un 92% en entrenamiento, pero fue descartado debido a su alto tiempo de ejecución y bajo rendimiento en condiciones reales. El modelo InceptionResNetV2 presentó problemas de sobreajuste, obteniendo solo un 74% de precisión en validación. No obstante, el análisis evidenció dificultades para diferenciar materiales con características similares, como papel y cartón o metal y vidrio, lo que refleja limitaciones actuales de estos sistemas [20].

Delhi Technological University (India)

En relación con el uso de sensores inteligentes y sistemas IoT para el monitoreo de residuos, la Delhi Technological University en India desarrolló un mecanismo de cesto de basura inteligente denominado Smart Garbage Bin Mechanism (SGBM). Este sistema utiliza lógica difusa para la toma de decisiones y fue implementado en el entorno de modelado NetLogo [21].

El mecanismo permite acceder a información en tiempo real sobre el estado de los contenedores desplegados en una ciudad inteligente y resolver de forma proactiva el problema del desbordamiento de residuos. La lógica difusa también se utiliza para optimizar el despliegue estratégico de los contenedores dentro del entorno urbano, asegurando que la infraestructura disponible sea suficiente según la demanda [21].

Aunque el estudio se centra principalmente en el diseño del sistema y no presenta tablas de precisión específicas, estudios relacionados en la literatura muestran que la aplicación de algoritmos de Inteligencia Artificial en la logística de residuos puede generar mejoras significativas en eficiencia operativa. Por ejemplo, [22] lograron reducir la distancia de transporte en un 36.8% mediante un algoritmo de búsqueda que optimiza las rutas de recolección utilizando datos de contenedores inteligentes. Por su parte, [23] reportaron un ahorro de costos del 13.35% al aplicar un algoritmo de recocido simulado para optimizar la ubicación y operación de centros de reciclaje. Asimismo, [24] obtuvieron una reducción del tiempo operativo del 28.22% mediante el uso de algoritmos genéticos combinados con sistemas de información geográfica para mejorar las rutas de recolección.

Estos resultados, aunque provienen de diferentes contextos, son utilizados como referencia en este estudio para evidenciar el potencial de la Inteligencia Artificial en la optimización de sistemas de gestión de residuos, especialmente frente a las limitaciones de los métodos tradicionales [21].

Rajeev Gandhi Memorial College of Engineering and Technology (India)

Finalmente, en la Rajeev Gandhi Memorial College of Engineering and Technology en Nandyal, India, se desarrolló un sistema de gestión integral de residuos basado en IoT para instituciones educativas. El sistema propone un prototipo de contenedor inteligente que integra sensores ultrasónicos conectados a microcontroladores, como NodeMCU, para medir el nivel de llenado de los contenedores [25].

Los datos se transmiten a la plataforma en la nube ThingSpeak, donde se almacenan y se pueden consultar en tiempo real. El sistema envía notificaciones automáticas por correo electrónico cuando el nivel de llenado del contenedor alcanza el 80% de su capacidad. Además, permite rastrear la ubicación GPS del contenedor y el tipo de residuo depositado mediante una aplicación móvil para Android [25].

Los estudios que analizan este tipo de enfoques tecnológicos reportan niveles de precisión superiores al 97% en la clasificación automática de residuos mediante algoritmos de reconocimiento de imágenes. Este proyecto es considerado un modelo para que las instituciones educativas actúen como centros de innovación en sostenibilidad y reduzcan el impacto ambiental de sus campus [25].

En la Tabla II se presenta un análisis comparativo de diferentes universidades y los sistemas de gestión de residuos que han implementado, destacando el uso de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y modelos de aprendizaje automático para mejorar la recolección, clasificación y monitoreo de desechos. La tabla resume los componentes principales de cada sistema, incluyendo los tipos de sensores utilizados, los algoritmos aplicados y los modelos predictivos implementados, así como los resultados obtenidos en términos de eficiencia, precisión y optimización de procesos.

TABLA II
Comparación de tecnologías, algoritmos y modelos de IA e IoT aplicados a la gestión de residuos en universidades

Universidad	Tipo de Sistema	Enfoque	Tecnología	Algoritmo	Métrica	Resultado del modelo	Ref.
Ton Duc Thang University	Sistema de gestión de residuos en campus con predicción de llenado de contenedores y optimización de rutas	Predicción / Optimización de rutas	IoT (sensores ultrasónicos en contenedores), nodos conectados vía LoRa E32, puerta de enlace ESP8266, App móvil para visualización de niveles de llenado	Dijkstra para optimización de rutas; Regresión Logística para predicción de llenado	AUC	0.99 en predicción de llenado de contenedores	[16]
University of Mauritius	Sistema inteligente de monitoreo de contenedores para gestión proactiva de residuos	Predicción	IoT (sensores de nivel en contenedores), plataforma de monitoreo en tiempo real	Modelos predictivos supervisados para anticipar recolección	No especificada	Predicciones sobre cuándo será necesario realizar la recolección	[17]
University of Mysore	Sistema de clasificación automática de residuos (orgánicos, reciclables, generales) y optimización de rutas	Clasificación / Predicción / Optimización de rutas	IoT (sensores de llenado), módulo de optimización de rutas basado en tráfico y generación de residuos	Random Forest, KNN, SVM, ANN, Naive Bayes; análisis predictivo por día de la semana y departamento académico	Precisión, Recall y F1	Precisión, recall y F1 = 1.00 en los mejores modelos; ANN precisión 0.973–1.00; Naive Bayes >0.93	[18]
Universidad de la Amazonia	Contenedor inteligente para clasificación automática de botellas reciclables	Clasificación	Sensores ópticos de identificación, sistema de almacenamiento automático de botellas PET	Red neuronal tipo perceptrón multicapa con Levenberg–Marquardt	Precisión	Clasificación de botellas reciclables con reconocimiento visual 99%	[19]
Universidad Tecnológica Israel	Sistema de clasificación automática de residuos mediante visión artificial	Clasificación	Sensores ópticos/cámaras, software de procesamiento de imágenes	DenseNet121, VGG-16, InceptionResNetV2	Precisión	Clasificación de residuos con precisión 74–92% en validación y entrenamiento según el modelo	[20]
Delhi Technological University	Smart Garbage Bin Mechanism (SGBM) para gestión de residuos urbanos	Optimización de rutas	IoT (sensores inteligentes en contenedores), entorno de modelado NetLogo	Lógica difusa para toma de decisiones y optimización de despliegue estratégico	No especificada	Sistema de gestión de residuos con monitoreo en tiempo real y optimización del despliegue de contenedores	[21]
Rajeev Gandhi Memorial College of	Contenedor inteligente IoT para seguimiento	Clasificación	Sensores ultrasónicos conectados a NodeMCU,	Procesamiento de datos de sensores para	Precisión	Clasificación automática de residuos con	[25]

Engineering and Technology	y clasificación de residuos		ThingSpeak, app móvil Android	notificaciones y optimización de rutas		precisión >97%, alertas al 80% de llenado y rastreo GPS	

IV. Discusión

Los resultados analizados evidencian que, entre 2015 y 2026, las aplicaciones de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de residuos universitarios se han desarrollado principalmente bajo tres enfoques complementarios: predicción de generación de residuos, clasificación automatizada de materiales y optimización logística de la recolección. En el primer enfoque, destacan sistemas como el implementado en Ton Duc Thang University, donde el uso de modelos de regresión logística permite predecir el llenado de contenedores que tienen una alta capacidad predictiva. Este tipo de soluciones transforma la gestión de residuos de un enfoque reactivo a uno proactivo, al anticipar la demanda del servicio. Sin embargo, su dependencia de variables como el número de clases evidencia una limitación importante, ya que cambios no previstos en la dinámica académica pueden afectar la precisión del modelo. De manera similar, el caso de University of Mauritius refuerza este enfoque predictivo basado en IoT, aunque con una limitación metodológica relevante al no reportar métricas cuantitativas específicas, lo que dificulta evaluar objetivamente su desempeño.

En el ámbito de la clasificación automatizada, los resultados muestran un alto nivel de madurez en el uso de algoritmos de aprendizaje automático y deep learning. En University of Mysore, modelos como Random Forest, KNN y SVM alcanzaron métricas perfectas (accuracy, recall y F1-score de 1.00), lo que sugiere una capacidad casi ideal para clasificar residuos en condiciones controladas. No obstante, la presencia de variabilidad en modelos como Naive Bayes y ciertas discrepancias en predicciones indican que estos resultados pueden depender significativamente de la calidad y distribución de los datos. Por su parte, en la Universidad de la Amazonia se logró una precisión del 99% en la clasificación de botellas plásticas, lo que confirma la efectividad de las redes neuronales en tareas específicas de reconocimiento visual, aunque también pone en evidencia una limitación de especialización, ya que el sistema se enfoca principalmente en un tipo de residuo. En contraste, la Universidad Tecnológica Israel muestra que, aunque modelos como DenseNet121 alcanzan altos niveles de precisión (88% en validación), existen desafíos importantes como el sobreajuste, el costo computacional y la dificultad para diferenciar materiales con características similares, lo que refleja que estos sistemas aún enfrentan limitaciones en escenarios reales.

En cuanto al tercer enfoque, la optimización logística, los resultados evidencian que la integración de IA e IoT permite mejorar significativamente la eficiencia operativa. El uso de algoritmos como Dijkstra para la planificación de rutas, así como técnicas más avanzadas como lógica difusa, algoritmos genéticos y recocido simulado, ha demostrado reducciones relevantes en distancia de transporte (hasta 36.8%), costos operativos (13.35%) y tiempo de recolección. Ejemplos como el sistema desarrollado en Delhi Technological University muestran cómo la toma de decisiones puede automatizarse en tiempo real mediante sensores y modelos inteligentes. Asimismo, el caso del Rajeev Gandhi Memorial College of Engineering and Technology evidencia la viabilidad de soluciones basadas en IoT con niveles de precisión superiores al 97% y sistemas de alerta automatizados; sin embargo, su carácter de prototipo y la dependencia de plataformas en la nube reflejan limitaciones en términos de escalabilidad y robustez. En conjunto, estos hallazgos confirman que, aunque las tecnologías de IA e IoT ofrecen mejoras significativas en la gestión de residuos universitarios, su implementación efectiva depende de factores como la calidad de los datos, la capacidad de adaptación a entornos dinámicos y la integración adecuada de infraestructura tecnológica.

V. Conclusiones y Limitaciones

Esta revisión sistemática (2015–2026) sintetiza 24 estudios sobre el uso de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de residuos en entornos universitarios. Los resultados muestran que estas tecnologías se aplican principalmente en tres áreas: (i) predicción del nivel de llenado y generación de residuos mediante sensores y modelos de aprendizaje automático; (ii) clasificación automatizada de materiales a través de visión por computadora; y (iii) optimización logística de la recolección mediante algoritmos de rutas. En general, los estudios reportan mejoras en la precisión de las predicciones, la eficiencia en la clasificación y la reducción de tiempo y distancia en la recolección. Esto confirma el potencial de la integración de IA e IoT para transformar la gestión de residuos en sistemas más eficientes, automatizados y orientados a la toma de decisiones en tiempo real, especialmente en universidades que funcionan como mini-ciudades y generan un impacto ambiental considerable.

No obstante, también se identifican desafíos y brechas importantes en la literatura, como la dependencia de datos de calidad, la necesidad de infraestructura tecnológica adecuada y la dificultad de adaptación a entornos dinámicos. Se observa además una limitada evaluación de estas soluciones en periodos prolongados y bajo condiciones reales, ya que varios estudios corresponden a prototipos, simulaciones o pruebas realizadas en condiciones específicas. También existe poca información sobre los costos de implementación y mantenimiento, la escalabilidad y los recursos necesarios para mantener estos sistemas funcionando a largo plazo. La diversidad de métricas, datos y condiciones utilizadas dificulta, además, la

comparación directa entre resultados y la determinación de qué soluciones pueden adaptarse mejor a diferentes contextos universitarios.

En cuanto a las limitaciones de esta revisión, se observa una alta heterogeneidad metodológica entre los estudios analizados, así como posibles restricciones relacionadas con el acceso y el idioma de las fuentes y un posible sesgo de publicación. Asimismo, al tratarse de un estudio de carácter documental, no se realizaron mediciones directas, entrevistas ni pruebas de estas tecnologías en una universidad específica. Por ello, los resultados permiten identificar tendencias, aplicaciones y brechas en la literatura, pero no establecer directamente la viabilidad de una solución para una institución en particular.

A partir de estos resultados, se recomienda que las universidades consideren la implementación progresiva de soluciones que integren IoT e IA. En una primera fase, pueden implementarse sistemas de monitoreo de contenedores mediante sensores de llenado conectados a plataformas digitales, que permitan obtener información en tiempo real. Posteriormente, pueden incorporarse modelos predictivos y algoritmos de optimización de rutas para mejorar la planificación de la recolección. Finalmente, los sistemas de clasificación mediante visión artificial pueden considerarse conforme aumenten la infraestructura tecnológica y la disponibilidad de datos. Como línea de trabajo futuro, sería pertinente aplicar estas tecnologías en universidades específicas, realizando diagnósticos de la gestión actual de residuos, recolección de datos directamente en el campus, entrevistas al personal encargado y pruebas piloto. Estos estudios también deberían evaluar su funcionamiento durante periodos prolongados, considerando aspectos como precisión, costos, mantenimiento, reducción de tiempos y distancias y capacidad de adaptación. De esta manera, futuras investigaciones podrían pasar del análisis de las aplicaciones reportadas en la literatura a la validación de soluciones reales y adaptadas a las características de cada universidad.

REFERENCIAS

[1] R. Giurea, M. Carnevale Miino, V. Torretta, y E. C. Rada, "Approaching sustainability and circularity along waste management systems in universities: an overview and proposal of good practices", *Front. Environ. Sci.*, vol. 12, 2024, doi: 10.3389/fenvs.2024.1363024.

[2] M. G. Araújo, A. Magrini, C. F. Mahler, y B. Bilitewski, "Artificial Intelligence (AI) applied to waste management: A contingency measure to fill out the lack of information resulting from restrictions on field sampling", *Waste Management Bulletin*, vol. 1, núm. 3, pp. 11–17, dic. 2023, doi: 10.1016/j.wasman.2011.09.020.

[3] L. R. Saldivar-de Salinas, L. Villar, V. Valleau, y O. Barrios-Leiva, "Solid waste management system for the National University of Asunción, Paraguay. Period 2015-2019", *Población y Desarrollo*, vol. 27, núm. 52, 2021, doi: 10.18004/pdfce/2076-054x/2021.027.52.015.

[4] O. O. Ojuri, A. S. Olowoselu, J. Akinrele, F. O. Ayodele, y O. O. Jayejeje, "Sustainable integrated solid waste management for a university campus − A case study of the Federal University of Technology Akure (FUTA), Nigeria", *Waste Management Bulletin*, vol. 2, núm. 2, pp. 161–170, jun. 2024, doi: 10.1016/j.wmb.2024.04.004.

[5] V. Azteria, W. Salsanabilla, y D. Utami, "EVALUATION OF SOLID WASTE MANAGEMENT AT UNIVERSITY X JAKARTA", *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, vol. 11, núm. 2, 2025, doi: 10.31289/biolink.v11i2.13789.

[6] J. M. Sánchez Yáñez y L. Márquez Benavides, "Gestión de residuos sólidos y la inteligencia artificial en el contexto mexicano", *Ciencia Nicolaita*, núm. 90, 2024, doi: 10.35830/cn.vi90.722.

[7] T. Singh, T. R. Ghimire, y S. K. Agrawal, "Awareness of Biomedical Waste Management in Dental Students in Different Dental Colleges in Nepal", *Biomed Res. Int.*, vol. 2018, núm. 1, p. 1742326, ene. 2018, doi: 10.1155/2018/1742326.

[8] R. Martínez Wong, J. F. Pacheco Dubón, y J. C. Montalván Flores, "Residuos sólidos reciclables y reutilizables producido en la UNAH-CU y sus potenciales de uso", *Revista Ciencia y Tecnología*, 2017, doi: 10.5377/rct.v0i20.5499.

[9] H. Jerbi, V. G. A. Gnana Vincy, S. Ben Aoun, R. Abbassi, y M. Kchaou, "Optimizing waste management in smart Cities: An IoT-Based approach using dynamic bald eagle search optimization algorithm (DBESO) and machine learning", *Journal of Urban Management*, vol. 14, núm. 23, jun. 2025, doi: 10.1016/j.jum.2025.05.015.

[10] T. Anh Khoa *et al.*, "Waste Management System Using IoT-Based Machine Learning in University", *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2020, núm. 1, p. 6138637, ene. 2020, doi: 10.1155/2020/6138637.

[11] R. Alsabt, W. Alkhaldi, Y. A. Adenle, y H. M. Alshuwaikhat, "Optimizing waste management strategies through artificial intelligence and machine learning - An economic and environmental impact study", *Cleaner Waste Systems*, vol. 8, 2024, doi: 10.1016/j.clwas.2024.100158.

[12] F. Fotovvatikhah, I. Ahmedy, R. M. Noor, y M. U. Munir, "A Systematic Review of AI-Based Techniques for Automated Waste Classification", *Sensors (Basel)*, vol. 25, núm. 10, may 2025, doi: 10.3390/s25103181.

[13] W. Liu, J. Jiang, N. Li, Y. Wang, K. Liu, y C. Zhao, "A Garbage Intelligent Classification and Recycling System Based on Deep Learning", *Procedia Comput. Sci.*, vol. 243, pp. 744–750, ene. 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.09.089.

[14] A. Lakhouit, "Revolutionizing urban solid waste management with AI and IoT: A review of smart solutions for waste collection, sorting, and recycling", *Results in Engineering*, vol. 25, p. 104018, mar. 2025, doi: 10.1016/J.RINENG.2025.104018.

[15] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews", el 29 de marzo de 2021, *BMJ Publishing Group*. doi: 10.1136/bmj.n71.

[16] T. Anh Khoa *et al.*, "Waste Management System Using IoT-Based Machine Learning in University", *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2020, núm. 1, p. 6138637, ene. 2020, doi: 10.1155/2020/6138637.

[17] R. Giurea, M. Carnevale Miino, V. Torretta, y E. C. Rada, "Approaching sustainability and circularity along waste management systems in universities: an overview and

proposal of good practices", *Front. Environ. Sci.*, vol. 12, 2024, doi: 10.3389/fenvs.2024.1363024.

[18] M. Sumathi, J. Hanumanthappa, K. S. Santhosh Kumar, S. P. Shiva Prakash, y J. Meghana, "IoT-based Efficient Waste Management on University Campus : Enhancing Monitoring and Optimization through Machine Learning", *Procedia Comput. Sci.*, vol. 258, pp. 4157–4168, ene. 2025, doi: 10.1016/J.PROCS.2025.04.666.

[19] E. Y. Salinas Osuna, J. D. Anacona Ortiz, O. F. Patiño Perdomo, y E. E. Millán Rojas, "Desarrollo de un contenedor y clasificador automático de material reciclable como estrategia de economía circular en el contexto educativo", *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 39, núm. 01, 2023, doi: 10.14482/inde.39.1.006.38.

[20] D. Castillo y L. Aguas, "Uso de la visión artificial para la clasificación de residuos solidos", 2023, [En línea]. Disponible en: https://ismaconline.net/investigacion/index.php/CreaIngenio_2021/index

[21] D. Abuga y N. S. Raghava, "Integrating artificial intelligence for sustainable waste management: Insights from machine learning and deep learning", *Watershed Ecology and the Environment*, vol. 7, pp. 353–382, ene. 2025, doi: 10.1016/j.scs.2021.103347.

[22] M. Akhtar, M. A. Hannan, R. A. Begum, H. Basri, y E. Scavino, "Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization", *Waste Management*, vol. 61, pp. 117–128, mar. 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.01.022.

[23] E. Babaee Tirkolaee, P. Abbasian, M. Soltani, y S. A. Ghaffarian, "Developing an applied algorithm for multi-trip vehicle routing problem with time windows in urban waste collection: A case study", *Waste Management and Research*, vol. 37, núm. 1_suppl, pp. 4–13, ene. 2019, doi: 10.1177/0734242X18807001.

[24] L. Amal, L. H. Son, y H. Chabchoub, "SGA: spatial GIS-based genetic algorithm for route optimization of municipal solid waste collection", *Environmental Science and Pollution Research 2018 25:27*, vol. 25, núm. 27, pp. 27569–27582, jul. 2018, doi: 10.1007/s11356-018-2826-0.

[25] V. Thangavel, "Sustainable Development of Effective Smart waste Management Practices by Ai& Ml Techniques in Higher educational Institutions", *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, vol. 6, pp. 563–581, 2024, doi: 10.35629/5252-0611563581.