



Análisis de prácticas ambientales y propuesta de solución inteligente para la gestión sostenible de residuos

Analysis of environmental practices and proposal for a smart solution for sustainable waste management

Nila Navarro

Universidad Iberoamericana de Panamá, Dirección de Investigación, Innovación y Vinculación con el medio

*Autor de correspondencia: [dirección.investigacion@unibero.ac.pa](mailto:direccion.investigacion@unibero.ac.pa)

RESUMEN. El objetivo de esta investigación fue diagnosticar las prácticas de separación y reciclaje de residuos entre los estudiantes de la Universidad Iberoamericana de Panamá y proponer un sistema inteligente de gestión de residuos que fomente hábitos sostenibles en el campus. Se empleó un enfoque cuantitativo y descriptivo, aplicando un cuestionario digital con escala de tipo Likert de 1 a 5. La encuesta se difundió a través de grupos de comunicación de la universidad para garantizar participación voluntaria y anonimato, obteniéndose datos de 129 estudiantes de diversas facultades durante el mes de octubre de 2025. Los resultados indican que el 72.6 % de los participantes separa regularmente los residuos en sus hogares, lo que refleja un compromiso moderado con la cultura ambiental. Asimismo, se identificó la necesidad de fortalecer la conciencia sobre prácticas de reciclaje y separación de residuos dentro del campus. Con base en estos hallazgos, se propone la implementación de un sistema inteligente de gestión de residuos que facilite la clasificación adecuada de desechos, mejore la eficiencia del reciclaje y motive a los estudiantes a adoptar hábitos sostenibles de manera constante. Se concluye que la aplicación de esta estrategia tiene el potencial de consolidar una cultura ambiental más sólida y de optimizar la gestión de residuos en la universidad, constituyéndose en un modelo replicable para otras instituciones educativas.

Palabras clave. Gestión de residuos, Reciclaje, Cultura ambiental, Estudiantes universitarios, Sistema inteligente.

ABSTRACT. The objective of this research was to diagnose waste separation and recycling practices among students at the Universidad Iberoamericana de Panamá and propose an intelligent waste management system that promotes sustainable habits on campus. A quantitative and descriptive approach was used, applying a digital questionnaire with a Likert scale from 1 to 5. The survey was disseminated through university communication groups to ensure voluntary participation and anonymity, obtaining data from 129 students from various faculties during the month of October 2025. The results indicate that 72.6% of participants regularly separate waste in their homes, reflecting a moderate commitment to environmental culture. Likewise, the need to strengthen awareness of recycling and waste separation practices on campus was identified. Based on these findings, the implementation of an intelligent waste management system is proposed to facilitate proper waste sorting, improve recycling efficiency, and motivate students to adopt sustainable habits on an ongoing basis. It is concluded that the application of this strategy has the potential to consolidate a stronger environmental culture and optimize waste management at the university, becoming a replicable model for other educational institutions.

Keywords. Waste management, Recycling, environmental culture, university students, smart systems.

1. Introducción

La gestión de residuos sólidos constituye un conjunto de procesos orientados a la reducción, separación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final adecuada de los desechos generados por las actividades

humanas [1], [2], [3]. Dentro de este marco, el reciclaje desempeña un papel fundamental, dado que permite recuperar materiales valorizables como papel, plástico, vidrio y metales, reincorporándolos a la cadena productiva y disminuyendo la presión sobre los recursos

Citación: N. Navarro, "Análisis de prácticas ambientales y propuesta de solución inteligente para la gestión sostenible de residuos", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 22, no. 1, pp. (0), 2026.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 10 noviembre de 2025. **Recibido con correcciones:** 25 de enero de 2026. **Aceptado:** 25 de enero de 2026. **DOI:**

Copyright: 2026 N. Navarro. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

naturales. Una gestión eficiente se basa en la correcta clasificación de los desechos en la fuente, el manejo logístico apropiado y la existencia de infraestructuras y políticas que garanticen el aprovechamiento de los materiales reciclables [4], [5], [6].

El incumplimiento de estos procesos genera problemáticas ambientales, sociales y económicas de alto impacto. La gestión inadecuada de residuos sólidos representa un desafío significativo tanto a nivel mundial como local [7], [8], [9]. En el caso de Panamá, esta situación adquiere especial relevancia. La gestión de residuos sólidos es un desafío para la salud pública, la conservación del medio ambiente y el desarrollo económico del país. Con solo el 76% de la población con acceso a servicios de recolección, una gran cantidad de desechos termina en cuerpos de agua, lo que causa contaminación y obstrucciones en las redes de drenaje. Este problema afecta negativamente la calidad de vida de los panameños y el desarrollo sostenible del país [10].

A ello se suman la limitada cultura de separación en la fuente, los vertederos saturados, la disposición irregular de desechos y el incremento constante de la generación de residuos, especialmente en zonas urbanas. Estas condiciones favorecen la emisión de gases de efecto invernadero, la degradación del suelo y la proliferación de vectores de enfermedades, además de provocar malos olores y riesgos para la seguridad de las comunidades [11], [12].

Frente a este panorama, las instituciones educativas superiores cumplen un rol estratégico. La universidad se configura como un espacio de formación integral que puede impulsar la conciencia ambiental, promover hábitos sostenibles y desarrollar soluciones innovadoras para la gestión de residuos, convirtiéndose en un referente replicable en otros entornos.

El presente estudio se enmarca en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12: Producción y Consumo Responsables[13], orientado a garantizar patrones sostenibles que optimicen el uso de recursos y minimicen los impactos ambientales. El objetivo principal es diagnosticar las prácticas de separación de residuos entre los estudiantes de la Universidad Iberoamericana de Panamá y proponer un sistema inteligente de gestión que fortalezca la cultura ambiental del campus, incremente la eficiencia del reciclaje y fomente comportamientos responsables dentro de la comunidad universitaria.

2. Trabajos relacionados

A continuación, se presentan diversos trabajos relacionados que abordan propuestas, tecnologías y

experiencias vinculadas a la gestión inteligente de residuos. Estos estudios permiten identificar avances, desafíos y enfoques aplicados en distintos contextos, lo que aporta una base sólida para el desarrollo de la presente investigación.

El trabajo [14] fundamenta la necesidad de integrar tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA) para mitigar los desafíos de la gestión de residuos en entornos de rápido crecimiento urbano. Este estudio ofrece un marco escalable que destaca la importancia de la eficiencia operativa y la optimización de recursos, objetivos centrales del sistema propuesto: EcoCampus. Por otro lado, en [15] se cuestiona la tendencia de las empresas de gestión de residuos de enfocarse excesivamente en la tecnología, dejando de lado la concienciación y la educación del usuario final. Este hallazgo es esencial, pues valida la necesidad del sistema EcoCampus de integrar la gamificación y la retroalimentación como herramienta para fomentar la participación.

En el ámbito de la tecnología aplicada, en [16] se presenta un modelo centrado en la segregación correcta de residuos sólidos, demostrando que las tecnologías de aprendizaje profundo pueden lograr alta precisión en la identificación de materiales reciclables. Este aporte técnico se complementa con el estudio [17] que aborda la planificación urbana sostenible. Este trabajo subraya la importancia de un enfoque multifacético que priorice la participación de la comunidad y la eficiencia de recursos, contextualizando la propuesta universitaria como parte de una estrategia urbana más amplia.

La optimización de los procesos de recolección constituye un aporte clave en el estudio [18] el cual valida la superioridad de los sistemas basados en sensores (distancia y peso) sobre los métodos de recolección periódica, ya que el monitoreo en tiempo real reduce costos y mejora la satisfacción pública. Asimismo, en un contexto regional más amplio, el estudio [19] identifica los factores determinantes para la gestión sostenible de residuos, destacando la protección ambiental como el criterio más importante. Este enfoque refuerza que la finalidad última de la innovación tecnológica debe ser el impacto ecológico positivo.

En síntesis, en [20] se analizan las prácticas comunes y los efectos adversos de una gestión insostenible, enfatizando la necesidad de mitigar los riesgos para la salud pública y el medio ambiente. Este trabajo ayuda a enmarcar el problema global que la propuesta EcoCampus busca mitigar a nivel local. Además, la relevancia tecnológica se fortalece con el estudio [21],

que muestra cómo la IA y el IoT están transformando la gestión de residuos al optimizar rutas y mejorar la clasificación, al tiempo que se abordan desafíos como la infraestructura digital y la inversión necesaria para su implementación.

3. Materiales y Métodos

El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo, cuyo propósito consiste en analizar las prácticas ambientales relacionadas con la separación de residuos dentro de la Universidad Iberoamericana de Panamá y, a partir de los resultados obtenidos, diseñar una propuesta tecnológica orientada a mejorar la gestión sostenible de residuos en el campus.

3.1 Definición del problema

En Panamá, la gestión de residuos sólidos constituye un desafío ambiental crítico, particularmente en zonas urbanas y semiurbanas como Cerro Patacón, donde la generación de residuos por actividad doméstica refleja un patrón de composición altamente diversificado. Según datos recientes descritos en el gráfico 1, los residuos orgánicos representan el 29.7% del total, seguidos por los plásticos con un 18.8%, y el papel/cartón con un 15.5%. Otros materiales como celulosas (9%), textiles (5.9%), metales (4.1%), inertes (4%) y vidrios (2.5%) también contribuyen significativamente, mientras que los residuos peligrosos, especiales y electrónicos (RAEES) aunque menores, suman un 1.7%.

Esta distribución evidencia un predominio de materiales que requieren estrategias diferenciadas de manejo: los orgánicos pueden ser aprovechados mediante compostaje, los plásticos y metales requieren reciclaje, y los residuos peligrosos necesitan una disposición segura. La falta de sistemas de gestión integrales y soluciones inteligentes para el manejo de estos residuos genera impactos ambientales negativos, incluyendo contaminación de suelos y cuerpos de agua, proliferación de vectores de enfermedades y presión sobre los rellenos sanitarios existentes.

Por ello, resulta fundamental desarrollar un enfoque de gestión sostenible que combine prácticas ambientales responsables, educación ciudadana y tecnologías inteligentes que optimicen la recolección, segregación y tratamiento de residuos domésticos, adaptadas a la realidad de comunidades como Cerro Patacón y, en general, al contexto urbano de Panamá [22], [23], [24].



Figura. 1. Residuos generados por la actividad doméstica.
Fuente: Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario (AAUD).

3.2 Contexto Panameño

En Panamá se han desarrollado diversas investigaciones sobre la gestión de residuos sólidos y prácticas ambientales, que permiten comprender los desafíos y avances en el país.

Algunos estudios destacan por su aporte a la caracterización y manejo de residuos. El estudio [25] analiza el impacto de la cuarentena por Covid-19, mostrando deficiencias en la recolección domiciliaria y un aumento de residuos orgánicos y peligrosos, con una generación per cápita de 0.409 kg/hab./día. De manera complementaria, el estudio [26] evaluó residuos domiciliarios durante la pandemia, promoviendo prácticas sostenibles como compostaje y reciclaje, con producción de abonos y materiales reutilizables para apoyar la economía familiar.

En el ámbito universitario, un estudio transversal en la Universidad de Panamá [27] identificó los principales generadores comerciales de residuos y resaltó la necesidad de sensibilizar sobre segregación, aprovechar el reciclaje mediante alianzas y promover estrategias de conservación ambiental.

Por otro lado, se ha planteado la economía circular como alternativa para optimizar la gestión de residuos sólidos en el país [28], frente a la presión sobre los sistemas públicos causada por la concentración poblacional y los residuos peligrosos, buscando a la vez proteger el medio ambiente y fortalecer la economía.

En Chitré, Herrera, el estudio sobre la cultura de las 3R [29] mostró que la mayoría de los habitantes conoce y practica el reciclaje y la separación de residuos, aunque existen obstáculos como la falta de espacio para el compostaje, destacando la necesidad de programas educativos e infraestructura adecuada.

Finalmente, el estudio [30], demostró cómo la educación ambiental fomenta hábitos sostenibles, organización comunitaria y pensamiento crítico en los estudiantes, contribuyendo a la gestión responsable de residuos y al fortalecimiento del sentido de pertenencia.

Estos trabajos representan algunos de los principales aportes realizados hasta el momento en Panamá, mostrando diferentes enfoques, desde estudios domiciliarios y universitarios hasta estrategias comunitarias y educativas. Sin embargo, existen otras investigaciones complementarias que continúan ampliando el conocimiento en esta área, lo que evidencia un interés creciente en el país por la sostenibilidad ambiental y la gestión eficiente de los residuos sólidos.

3.3 Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló en dos fases complementarias:

- Diagnóstico de las prácticas de separación de residuos mediante la aplicación de una encuesta estructurada a los estudiantes.
- Formulación de una propuesta tecnológica, basada en los hallazgos del diagnóstico, que incluya la arquitectura conceptual de un sistema inteligente de gestión de residuos.
- Este diseño permite comprender la situación actual y generar una propuesta aplicable y alineada con las necesidades identificadas.

3.4 Población y Muestra

La población del estudio corresponde a estudiantes de la Universidad Iberoamericana de Panamá, específicamente de las facultades de Humanidades y Ciencias de la Educación, Negocios y Administración, Derecho y Ciencias Políticas, así como de las carreras de Administración de Empresas y Contabilidad. La muestra estuvo conformada por 129 estudiantes, de los cuales el 71 % pertenece al sexo femenino y el 29 % al masculino, como se representa en el gráfico 2.

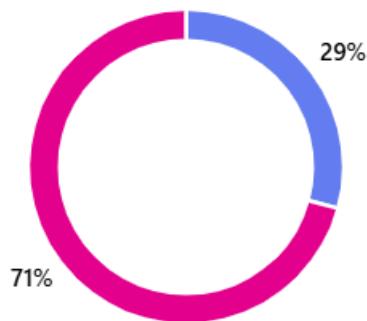


Figura. 2. Distribución de la muestra.

En relación con los rangos de edad, se observa la distribución presentada en el Gráfico 3. El 1 % corresponde a estudiantes menores de 18 años, el 43 % a estudiantes entre 18 y 24 años, el 29 % entre 25 y 34 años, el 18 % entre 35 y 44 años y el 9 % a estudiantes de 45 años o más. Esta distribución refleja la diversidad generacional dentro de la muestra y permite analizar cómo diferentes grupos etarios pueden tener hábitos y percepciones distintas respecto a los temas estudiados. Además, evidencia que la mayor concentración se encuentra en la población joven adulta, lo que puede influir en los resultados generales del estudio.

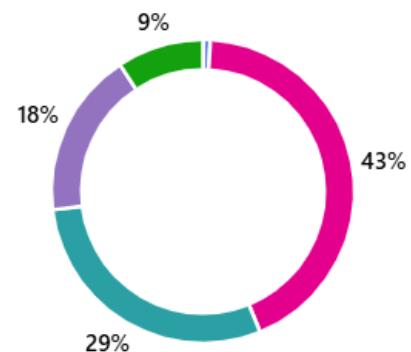


Figura 3. Rango de edad de los encuestados.

3.5 Instrumento de recolección de datos

Se utilizó una encuesta de carácter descriptivo en formato digital, mediante un cuestionario estructurado que permitió recopilar información de los participantes sobre los siguientes aspectos:

- Conocimientos y hábitos relacionados con el reciclaje.
- Prácticas actuales de separación y disposición de residuos.
- Percepción sobre la infraestructura disponible en el campus para el reciclaje.
- Actitud y disposición hacia la adopción de soluciones inteligentes para la gestión de residuos.

El instrumento empleó una escala tipo Likert de cinco puntos para medir satisfacción, frecuencia y nivel de conocimiento, asegurando la obtención de datos cuantificables que sirvieron para analizar la situación actual y planificar acciones concretas de mejora en la gestión de residuos en el campus.

4. Resultados y discusión

En este apartado se presentan los principales hallazgos obtenidos a través del análisis realizado sobre las prácticas ambientales de los estudiantes de la Universidad Iberoamericana de Panamá, así como el desarrollo y la propuesta del sistema automatizado de gestión de residuos denominado EcoCampus UNIBERO.

La sección se estructura en dos partes:

4.1 Análisis de prácticas ambientales de los estudiantes de la Universidad Iberoamericana de Panamá

Este análisis integra los hallazgos de las cuatro preguntas sobre prácticas y actitudes ambientales, revelando una comunidad con alto potencial y dispuesta a la acción.

Existe una base sólida de conocimiento sobre la correcta separación de residuos, con un 60% de los encuestados reportando niveles de conocimiento Alto o Muy Alto (Gráfica 4).

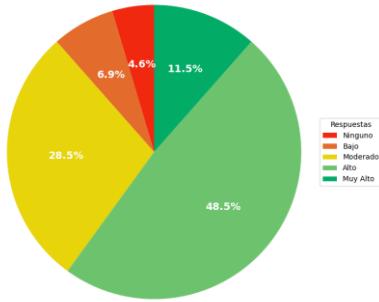


Figura 4. Nivel de conocimiento sobre la correcta separación de residuos.

Este capital de información se traduce en una práctica ambiental muy arraigada en otros aspectos de la vida diaria, ya que el uso frecuente de productos reutilizables (termos, bolsas ecológicas, etc.) alcanza un contundente 78.6 % (Gráfica 5). Es claro que la comunidad tiene la conciencia y la disposición para adoptar hábitos sostenibles cuando la práctica es conveniente y la infraestructura lo facilita. Esto evidencia que, además de la educación ambiental, contar con opciones accesibles y adecuadas es clave para consolidar comportamientos responsables. Asimismo, sugiere que intervenciones futuras podrían enfocarse en mejorar la disponibilidad de recursos que faciliten aún más estas prácticas sostenibles.

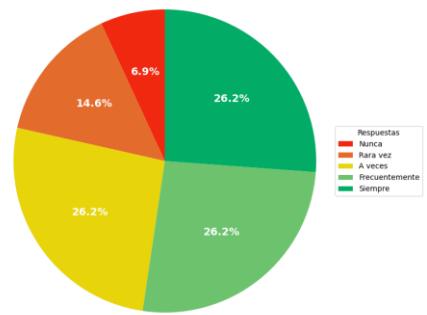


Figura 5 Frecuencia de uso de productos reutilizables.

Sin embargo, a pesar de este alto nivel de conocimiento y de la buena disposición para el uso de reutilizables, se observa una brecha al examinar la frecuencia de separación de residuos en el lugar de residencia. Mientras que el 77.7% separa los residuos Casi siempre o Siempre, una parte que representa el 22.3% restante lo hace A veces o casi nunca/nunca (Gráfica 6). Esto sugiere que el desafío no es la falta de saber o la mala actitud, sino probablemente la ausencia de logística, incentivos o infraestructura adecuados para hacer la separación en el hogar una práctica consistente.

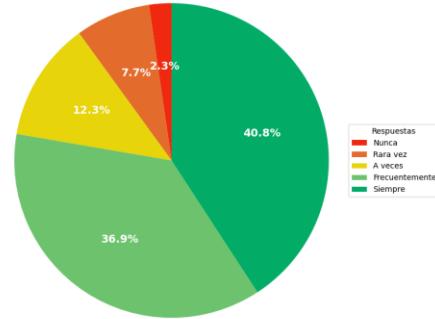


Figura 6 Frecuencia de Separación de Residuos en el Lugar de Residencia.

La comunidad se muestra extremadamente receptiva a la intervención de la institución educativa. Existe un consenso casi unánime, con el 85.4% de los encuestados De acuerdo o Totalmente de Acuerdo (Gráfica 7), en que las buenas prácticas ambientales impulsadas por la universidad (como campañas de concientización y actividades educativas) podrían mejorar la separación de residuos en el campus. Este hallazgo refuerza el compromiso institucional y representa una oportunidad estratégica para la universidad de fortalecer su liderazgo ambiental, canalizando el nivel de conocimiento y

disposición de la comunidad hacia acciones sostenibles dentro del campus.

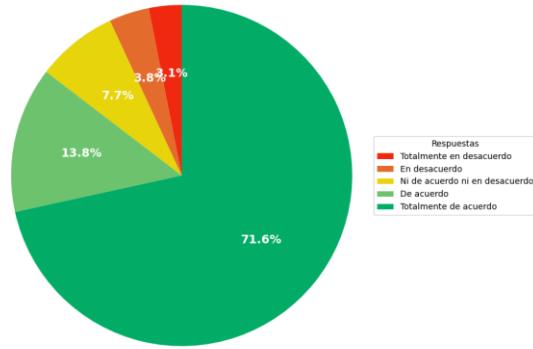


Figura 7 Impacto de las Buenas Prácticas Ambientales de la Universidad en la Separación de Residuos en el Campus.

El análisis evidencia que la comunidad universitaria posee una sólida conciencia y disposición ambiental, reflejada en su alto nivel de conocimiento y en el uso frecuente de productos reutilizables. Sin embargo, se identifica una brecha entre la intención y la acción en la práctica de separación de residuos. Este hallazgo fue determinante para el planteamiento del sistema EcoCampus, concebido como una respuesta tecnológica que optimiza los procesos de gestión, promueve la participación y traduce la conciencia ambiental existente en acciones sostenibles dentro del entorno universitario.

4.2 EcoCampus Unibero

El sistema EcoCampus UNIBERO es una propuesta de solución para la gestión inteligente de residuos que utiliza tecnología para fomentar la correcta separación, garantizar la eficiencia de los contenedores y gamificar la experiencia del reciclaje la cual se ilustra en la figura 8.



Figura 8 EcoCampus UNIBERO.

Capa 1: Interacción y Clasificación del Usuario (Interfaz)

Esta capa se centra en la experiencia del estudiante al iniciar el proceso de reciclaje.

- Inicio de la Interacción: El estudiante se acerca a la estación y utiliza la pantalla táctil interactiva.
- Clasificación de Desecho: El estudiante selecciona en la pantalla el tipo de desecho que va a depositar (ejemplo: papel, botella PET, cartón de leche, etc.). Este paso es crucial para el proceso de validación interna.
- Retroalimentación Inmediata: Una vez que el desecho ha sido introducido y el sistema lo valida como correcto, la pantalla muestra un mensaje de "¡Felicitaciones!" al usuario. Este es el punto de inicio del sistema de puntos/recompensas, reconociendo inmediatamente la buena práctica.

Capa 2: Ejecución Física y Validación (Contenedores y Sensores)

Esta capa describe la acción física de depositar el residuo y el chequeo preliminar realizado por los sensores.

- Depósito del Residuo: El estudiante procede a introducir el residuo en el contenedor correspondiente al tipo de desecho que seleccionó en la pantalla.
- Verificación de Capacidad (Sensor de Distancia): Antes de registrar el residuo, el sensor de distancia ubicado dentro de cada contenedor realiza una doble función: Verifica si hay espacio dentro del contenedor para recibir el residuo. Si el contenedor

está lleno, el sistema puede alertar al usuario o inhabilitar temporalmente ese depósito.

- Verificación de Peso (Sensor de Peso): El sensor de peso registra la masa del residuo depositado. Este dato es esencial para el sistema de puntos (que podría recompensar por peso reciclado) y para el monitoreo de la cantidad de material recolectado.

Capa 3: Procesamiento y Conectividad (El Cerebro del Sistema)

Esta capa es el centro lógico y de comunicaciones, gestionado por el microcontrolador.

- Recepción y Enlace de Datos: La Raspberry Pi (central de procesamiento) actúa como el cerebro del sistema. Recibe, procesa y correlaciona:
 - Los datos de la selección del usuario desde la pantalla táctil.
 - Los datos de distancia (capacidad) y peso (cantidad) de los sensores.
- Validación Lógica: La Raspberry Pi valida que el residuo introducido (detectado por peso y, teóricamente, en el contenedor correcto) coincida con la selección hecha por el usuario en la pantalla.
- Conectividad Inalámbrica: Los datos procesados se envían a través de una conexión Wi-Fi a una plataforma central de gestión. Estos datos incluyen:
 - Información para la pantalla interactiva (retroalimentación y puntos/recompensas).
 - Información de gestión (niveles de llenado y peso acumulado) para la toma de decisiones logísticas (ejemplo: planificar la ruta de recolección cuando un contenedor está casi lleno).

4.3 Propósito Integrado: Gamificación y Gestión

El fin principal de este funcionamiento por capas es doble:

- Fomentar la Buena Práctica (Gamificación): Al enlazar la Raspberry Pi con el sistema de puntos, se recompensa al estudiante por cada reciclaje correcto y validado. Esto incentiva la participación y la correcta clasificación.
- Optimizar la Logística (Gestión Inteligente): Al tener sensores de distancia y peso monitoreados por la Raspberry Pi, la universidad puede obtener datos en tiempo real sobre la cantidad de residuos y el nivel de llenado. Esto permite una recolección de residuos más eficiente, económica y sostenible.

5. Conclusiones

La comunidad estudiantil de la Universidad Iberoamericana de Panamá evidencia un compromiso moderado con la separación y el reciclaje de residuos, lo cual se refleja en que el 77.7 % de los estudiantes afirma realizar prácticas de reciclaje en sus hogares. Este resultado pone de manifiesto la necesidad de fortalecer la conciencia y la educación ambiental dentro del campus universitario.

La implementación de un sistema inteligente de gestión de residuos presenta un alto potencial para mejorar la correcta clasificación de los desechos, optimizar la eficiencia de los procesos de reciclaje y fomentar de manera constante hábitos sostenibles en la comunidad universitaria.

La propuesta planteada no solo contribuiría a la sostenibilidad del campus, sino que además podría constituirse en un modelo replicable para otras instituciones de educación superior interesadas en promover una cultura ambiental sólida y responsable.

Asimismo, la integración de soluciones tecnológicas en la gestión de residuos se perfila como una estrategia eficaz para alinear las prácticas universitarias con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular con el ODS 12: Producción y Consumo Responsables, fortaleciendo la formación de ciudadanos conscientes y comprometidos con la sostenibilidad.

Como línea de trabajo futura, se sugiere la implementación piloto del sistema inteligente en el campus, con el fin de evaluar su eficacia, la aceptación por parte de los estudiantes y los posibles ajustes necesarios para garantizar su adopción y sostenibilidad a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Iberoamericana de Panamá por brindar las facilidades y el apoyo institucional necesarios para el desarrollo de este estudio. Su compromiso con la investigación y la innovación educativa permitió llevar a cabo este trabajo.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, NN; Metodología, NN; análisis formal, NN; investigación, NN; escritura—original NN; escritura—revisión y edición, NN; autor de correspondencia, NN.

Se confirma que se ha leído y aprobado la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] L. Abarca-Guerrero, G. Maas, W. Hogland, L. Abarca-Guerrero, G. Maas, and W. Hogland, "Desafíos en la gestión de residuos sólidos para las ciudades de países en desarrollo," *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 28, no. 2, pp. 141–168, 2015, Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000200141&lng=en&nrm=iso&tlang=es
- [2] A. M. Rodrigues, M. Girotto Rebelato, A. Cerqueira, and uan A. Castañeda Ayarza, "Marco metodológico para evaluar el desempeño ambiental de la disposición de residuos y subproductos en la producción de FCOJ," *Revista científica Pensamiento y Gestión*, vol. 47, pp. 111–147, Feb. 2024, doi: 10.14482/PEGE.47.5820.
- [3] M. Carolina, C. Juan, and A. Rihm, "Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Conceptos básicos, análisis de viabilidad y recomendaciones de políticas públicas," *BID*, Jan. 2022, doi: 10.18235/0003971.
- [4] A. Reyes Curcio, N. Pellegrini Blanco, and R. E. Reyes Gil, "El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector minas de Baruta, Estado Miranda, Venezuela," *Rev Invest (Guadalajara)*, vol. 39, no. 86, pp. 157–170, 2015, Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142015000300008&lng=es&nrm=iso&tlang=es
- [5] R. K. Sakthibala, P. Vasanthi, C. Hariharasudhan, and P. Partheeban, "A critical review on recycling and reuse of construction and demolition waste materials," *Cleaner Waste Systems*, vol. 12, p. 100375, Dec. 2025, doi: 10.1016/J.CLWAS.2025.100375.
- [6] T. Kim, "A Review of Recycling and Waste Management Systems Through the Lens of the COVID-19 Pandemic," *Journal of Student Research*, vol. 12, no. 1, Feb. 2023, doi: 10.47611/JSRHS.V12I1.3975.
- [7] N. Ferronato and V. Torretta, "Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues," *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019, Vol. 16, Page 1060, vol. 16, no. 6, p. 1060, Mar. 2019, doi: 10.3390/IJERPH16061060.
- [8] T. K. Gebrekidan, N. G. Weldemariam, H. D. Hidru, G. G. Gebremedhin, and A. K. Weldemariam, "Impact of improper municipal solid waste management on fostering One Health approach in Ethiopia — challenges and opportunities: a systematic review," *Science in One Health*, vol. 3, p. 100081, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.SOH.2024.100081.
- [9] F. A. Kitole, T. O. Ojo, C. U. Emenike, N. Z. Khumalo, K. M. Elhindi, and H. S. Kassem, "The Impact of Poor Waste Management on Public Health Initiatives in Shanty Towns in Tanzania," *Sustainability 2024, Vol. 16, Page 10873*, vol. 16, no. 24, p. 10873, Dec. 2024, doi: 10.3390/SU162410873.
- [10] M. E. De la Peña, "Retos y oportunidades en la gestión de los residuos sólidos en Panamá - Volvamos a la fuente," BID. Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: <https://blogs.iadb.org/agua/es/retos-y-oportunidades-en-la-gestion-de-los-residuos-solidos-en-panama/>
- [11] E. D. V. Nadales Díaz, "Fortalecimiento de la Cultura del Reciclaje y la Reutilización desde la Axiología Ambiental," *Revista Scientific*, vol. 2, no. Ed. Esp., pp. 133–153, Feb. 2017, doi: 10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.0.0.8.133-153.
- [12] A. R. Curcio, N. P. Blanco, and R. E. R. Gil, "El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector minas de Baruta, Estado Miranda,Venezuela," *Rev Invest (Guadalajara)*, vol. 39, no. 86, pp. 157–170, 2015.
- [13] Naciones Unidas, "Consumo y producción sostenibles - Desarrollo Sostenible," Naciones Unidas. Accessed: Oct. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- [14] E. O. Atofarati, V. O. Adogbeji, and C. C. Enweremadu, "Sustainable smart waste management solutions for rapidly urbanizing African Cities," *Util Policy*, vol. 95, p. 101961, Aug. 2025, doi: 10.1016/J.JUP.2025.101961.
- [15] M. Farooq, J. Cheng, N. U. Khan, R. A. Saifi, N. Kanwal, and H. A. Bazkiae, "Sustainable Waste Management Companies with Innovative Smart Solutions: A Systematic Review and Conceptual Model," *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 13146*, vol. 14, no. 20, p. 13146, Oct. 2022, doi: 10.3390/SU142013146.
- [16] A. Alourani, M. U. Ashraf, and M. Aloraini, "Smart waste management and classification system using advanced IoT

- and AI technologies," *PeerJ Comput Sci*, vol. 11, p. e2777, 2025, doi: 10.7717/PEERJ-CS.2777/SUPP-2.
- [17] S. Purohit, "Smart Solutions for Environmental Sustainability and Climate Changes," *Journal of Global Resources*, vol. 10, no. 1, pp. 127–131, Jan. 2024, doi: 10.46587/JGR.2024.V10I01.016.
- [18] D. I. Hussain, D. A. Elomri, D. L. Kerbache, and D. A. El Omri, "Smart city solutions: Comparative analysis of waste management models in IoT-enabled environments using multiagent simulation," *Sustain Cities Soc*, vol. 103, p. 105247, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.SCS.2024.105247.
- [19] R. Činčikaitė, "Assessment of Sustainable Waste Management: A Case Study in Lithuania," *Sustainability 2025, Vol. 17, Page 120*, vol. 17, no. 1, p. 120, Dec. 2024, doi: 10.3390/SU17010120.
- [20] I. R. Abubakar *et al.*, "Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 19, p. 12717, Oct. 2022, doi: 10.3390/IJERPH191912717.
- [21] S. Fuqaha and N. Nursetiawan, "Artificial Intelligence and IoT for Smart Waste Management: Challenges, Opportunities, and Future Directions," *Journal of Future Artificial Intelligence and Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 24–46, Apr. 2025, doi: 10.62411/FAITH.3048-3719-85.
- [22] Y. Khan, M. B. M. Su'ud, M. M. Alam, S. F. Ahmad, A. Y. A. B. Ahmad, and N. Khan, "Application of Internet of Things (IoT) in Sustainable Supply Chain Management," *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 694*, vol. 15, no. 1, p. 694, Dec. 2022, doi: 10.3390/SU15010694.
- [23] R. Sharma, "Leveraging AI and IoT for Sustainable Waste Management," *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1939 CCIS, pp. 136–150, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-47055-4_12.
- [24] M. Idrovo-Hurel, A. Morán-Herrera, and D. Peralta, "Applications of artificial intelligence in urban solid waste management: A systematic literature review," *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, vol. 8, no. 2, pp. 3350–3363, Apr. 2025, doi: 10.53894/IJIRSS.V8I2.6010.
- [25] N. R. Sánchez, D. C. Ramos, and E. Vallester, "Generación y segregación de residuos sólidos domiciliarios durante la cuarentena por Covid-19 en Panamá, estudio de caso," *Investigación y Pensamiento Crítico*, vol. 9, no. 2, pp. 16–24, Apr. 2019, doi: 10.37387/IPC.V9I2.232.
- [26] E. Españo, S. Pittí, A. Acosta, and V. Domínguez De Franco, "Caracterización de residuos sólidos domiciliarios, compostaje y reciclaje durante la pandemia de COVID-19," *Revista de Iniciación Científica*, vol. 8, no. 2, pp. 69–75, Jul. 2022, doi: 10.33412/REV-RIC.V8.2.3675.
- [27] V. De, L. C. Cabrera, R. Kelly, and F. F. Castro, "FUENTES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ COMO POTENCIAL RIESGO AMBIENTAL," *Scientia*, vol. 32, no. 2, pp. 21–37, Jul. 2022, doi: 10.48204/J.SCIENTIA.V32N2.A3122.
- [28] A. D. E. H., "La economía circular, una alternativa de gestión ambiental para el manejo y disposición de residuos sólidos en Panamá," *Revista Plus Economía*, vol. 9, no. 2, pp. 54–70, Jul. 2021, Accessed: Oct. 28, 2025. [Online]. Available: <https://revistas.unachi.ac.pa/index.php/pluseconomia/article/view/502>
- [29] V. Villalaz, R. A. C. R., N. Ruiz, and F. H. C. Q., "Cultura de las 3R y Gestión de Residuos: Estrategia para mejorar el distrito de Chitré, Herrera, Panamá," *Revista Semilla del Este*, vol. 5, no. 2, pp. 44–65, Apr. 2025, doi: 10.48204/SEMILLAESTE.V5N2.7086.
- [30] J. Asprilla R., "Programa educativo para el manejo de los residuos sólidos como alternativa a la contaminación ambiental en el Centro Educativo Eutimia Bronce de Nieto, Gualaca, Chiriquí," Jan. 2024.