

# Convirtiendo las basuras en oportunidades: gestión de residuos sólidos en institución educativa rural

*Turning trash into opportunity: solid waste management in rural educational institution*

Liyeismes Paternina Martínez<sup>a</sup>, Yessica Lorena Perdomo Useche<sup>b</sup>

## RESUMEN

La economía circular se presenta como una solución práctica para abordar la problemática de los residuos sólidos en instituciones educativas rurales. Al promover la reducción, la reutilización y el reciclaje de residuos, esta estrategia contribuye al cuidado ambiental y genera beneficios sociales y económicos para las comunidades. Sin embargo, pese a su importancia en la formación de ciudadanos comprometidos con la sostenibilidad, las escuelas rurales enfrentan una limitada comprensión sobre la gestión de residuos, lo que dificulta el desarrollo de estrategias educativas efectivas y limita la construcción de comunidades resilientes. Este trabajo tuvo como objetivo diseñar e implementar una guía educativa para optimizar el manejo de residuos sólidos en estas instituciones, fundamentada en principios de educación ambiental y economía circular. La metodología incluyó la revisión de información en bases de datos, la caracterización de la gestión de residuos mediante encuestas y el análisis de hábitos y comportamientos comunes en el entorno. Además, se empleó un modelo de *Machine Learning* para predecir tendencias en la generación de desechos y guiar el diseño de una estrategia eficiente. Entre los resultados se destacan la necesidad de implementar estrategias basadas en educación ambiental y economía circular, subrayando el valor de los modelos predictivos para anticipar patrones de residuos. La guía desarrollada fomenta prácticas sostenibles en las escuelas, resaltando la importancia de integrar educación ambiental, economía circular y participación comunitaria para lograr una gestión de residuos efectiva y sostenible en entornos rurales.

**PALABRAS CLAVES:** Economía circular, Educación ambiental, Escuela Rural, Sostenibilidad.

## ABSTRACT

The circular economy emerges as a practical solution to address the issue of solid waste in rural educational institutions. By promoting reduction, reuse, and recycling, this strategy contributes to environmental preservation while generating social and economic benefits for communities. However, despite their essential role in shaping citizens committed to sustainability, rural schools face a limited understanding of waste management, hindering the development of effective educational strategies and restricting the building of resilient communities. This study aimed to design and implement an educational guide to optimize solid waste management in these institutions, grounded in the principles of environmental education and the circular economy. The methodology involved a review of information from academic databases, the characterization of waste management practices through surveys, and the analysis of habits and behaviors within the community. Furthermore, a machine learning model was employed to predict trends in waste generation and to inform the design of an efficient strategy. The results emphasize the need to implement strategies based on environmental education and the circular economy, highlighting the potential of predictive models to anticipate waste generation patterns. The developed guide provides a framework for promoting sustainable practices in schools, underlining the importance of integrating environmental education, circular economy principles, and community participation to achieve effective and sustainable waste management in rural settings.

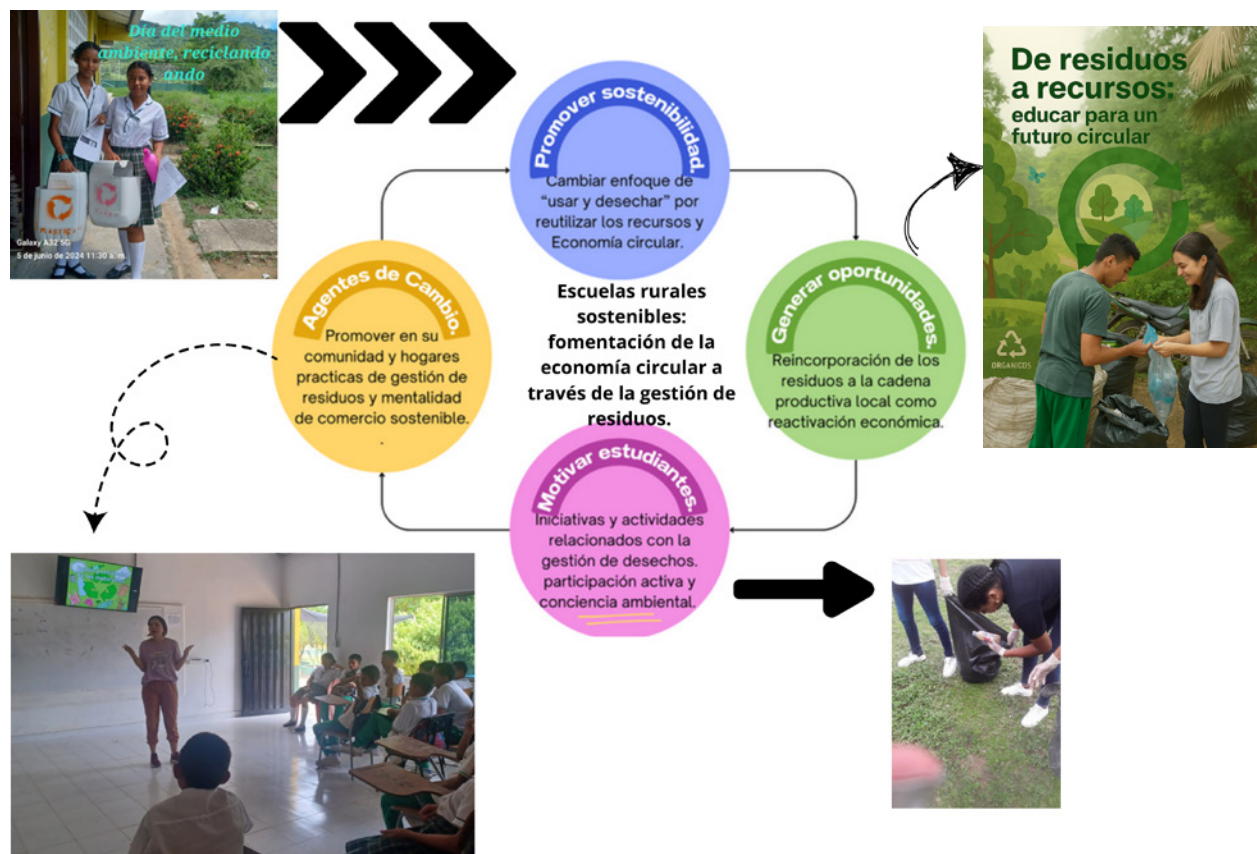
**KEYWORDS:** Circular economy, Environmental education, Rural School, sustainability.

\* Fundación Universitaria del Área Andina. Facultad de Ingenierías y Ciencias Básicas, Valledupar, Colombia. Paternina-Martínez, L. <https://orcid.org/0009-0009-3683-529X>

<sup>a</sup> Fundación Universitaria del Área Andina. Facultad de Ingenierías y Ciencias Básicas, Valledupar, Colombia. Perdomo-Useche, Y. <https://orcid.org/0000-0003-1980-2321>

## Introducción

Las escuelas deben contribuir a la implementación de la economía circular a través de estrategias de gestión de residuos. Es importante que en los espacios educativos se fomente la sostenibilidad, generando oportunidades económicas a través de la reincorporación de residuos, motivar a los estudiantes con actividades participativas y potenciar agentes de cambio que impulsen prácticas sostenibles en sus comunidades.



Nota. Fuente: autores, 2024

La economía actual se basa en la explotación de recursos, la fabricación y eliminación de desechos, a una escala que está generando problemas ambientales, sociales y económicos que resultan insostenibles como modelo productivo. Dadas las consecuencias de todo lo anterior, es imprescindible adoptar un modelo de economía basado en la sostenibilidad, que conciba a los residuos como fuentes aprovechables. Este enfoque se conoce como *economía circular* (Rodríguez *et al.*, 2020) y la transición hacia este modelo implica minimizar el uso de materia primas, así como maximizar la recuperación y reutilización de materiales (Tagle y Carrillo, 2022).

En Colombia se generan grandes cantidades de desechos: para el año 2017 se contabilizaron **10.3 millones de toneladas**, con una generación estimada

de **30,081 toneladas al día** (SSP, 2018; DIAN, 2018 citado en Los Andes y Greenpeace, 2019). A pesar de ello, solo un pequeño porcentaje (menos del 17%) de todos los residuos sólidos son reciclados, lo que acentúa con urgencia adoptar una visión más amplia de la economía circular para optimizar la gestión de residuos más allá de realizar una adecuada disposición de estos. Resulta fundamental propiciar un cambio en la percepción al consumo y la generación de residuos, alentado tanto a la ciudadanía, como a las administraciones públicas y el sector privado a tomar medidas significativas para abordar este desafío de manera sostenible (ONU, 2018, citado en Los Andes y Greenpeace, 2019).

Alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) representa un desafío fundamental

para todos los países (Tagle y Carrillo, 2022). En particular, los objetivos 11, 12 y 13<sup>1</sup> destacan, respectivamente, el enfoque hacia la problemática de la generación de residuos, fomentando la construcción de ciudades inclusivas y sostenibles, así como promoviendo patrones de consumo y producción responsables, y la acción climática. En este sentido, cabe resaltar que la inadecuada gestión de residuos contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero que favorecen al cambio climático (Hoy, *et al.*, 2024). Ahora bien, aunque todos estos aspectos son esenciales para asegurar los medios de subsistencia futura de todos, en Colombia alcanzar estos objetivos supone un desafío significativo, especialmente en las zonas rurales del país. Aquí, la gestión de residuos se dificulta por la carencia de instalaciones apropiadas, las deficientes prácticas de separación, la escasa educación pública sobre el tema y las pocas iniciativas ciudadanas para tratar los residuos (Munir, *et al.*, 2023). En otras palabras, la gestión de los residuos sólidos en la mayoría de municipios del país sigue siendo una tarea difícil (Cortés, 2018).

La falta de gobernabilidad en las zonas rurales recrudece los problemas ambientales, especialmente en el tratamiento de residuos sólidos, donde la carencia de servicios municipales de recolección y la escasa educación ambiental resultan en una gestión deficiente de los desechos. Esto se refleja en prácticas ineficientes como la quema de basura, la disposición de desechos en lugares inadecuados y la utilización de vertederos a cielo abierto (Emara, 2023). En este contexto, las comunidades tienen la oportunidad y la obligación de involucrarse activamente en iniciativas de educación ambiental, pues esto les permite adquirir conocimientos y perspectivas significativas para abordar de manera sostenible sus contextos ambientales, promoviendo y fomentando el cuidado y la protección de sus entornos naturales (Sánchez, 2019; Congreso de la República, 2012). Más aún, al plantear este escenario, las instituciones educativas locales surgen como elementos esenciales de una estrategia para enfrentar estos

desafíos, al desempeñar un papel fundamental en la gestión ambiental (Congreso de la República, 2012). Su intervención no solo permite a las comunidades abordar los problemas ambientales actuales, sino también trazar una ruta hacia la sostenibilidad y el bienestar colectivo (Sánchez, 2019). Asimismo, el hecho de que las escuelas asuman la responsabilidad de forjar ciudadanos comprometidos con el medio ambiente, puede promover en ellos una perspectiva integral que fomente la conciencia y la armonía con el entorno. Esto resalta que la educación ambiental desempeña un papel vital, al promover, desde las escuelas, prácticas que inculquen hábitos respetuosos con el ambiente en las nuevas generaciones, y corrijan conductas inapropiadas. Pero para lograrlo es necesario impulsar programas educativos ambientales en todos los ámbitos, para fomentar comportamientos responsables y contribuir a una transformación cultural entre los estudiantes y su grupo familiar (Castillo y Fuentealba, 2014, p. 8, citado en López *et al.*, 2020).

La transformación y reutilización de los residuos sólidos pueden ser impulsores clave en la búsqueda de sustentabilidad en las zonas rurales del país (Jiménez, 2022). Empoderar a las y los estudiantes es uno de los mayores potenciales que la economía circular puede desarrollar en las escuelas. A través de diversas estrategias de emprendimiento, los jóvenes pueden convertirse en protagonistas activos de su comunidad al adoptar hábitos más sostenibles (Owojori *et al.*, 2022). Así, se destaca la necesidad de tomar decisiones cruciales frente al modo de incidir en la participación juvenil y comunitaria, y de que las instituciones educativas se comprometan con la transformación hacia los modelos económicos circulares. Y esto involucra la implementación de programas para el tratamiento de los residuos en las instituciones educativas, los cuales habrían de estar enfocados en desarrollar el potencial de los estudiantes como agentes de cambio, a través de la implementación de programas relacionadas con la juventud, la capacitación y el desarrollo ambiental sostenible (DEA, 2011 citado en Owojori *et al.*, 2022).

En relación con la necesidad de ejecutar procesos de economía circular en zonas rurales planteada anteriormente, esta investigación se centró en diseñar

---

1. Para leer con detalle cada ODS dirigirse a <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

una estrategia didáctica con la cual se pueda forjar un futuro más sostenible en estos territorios a través de la Educación Ambiental. Esto, teniendo en cuenta que el reto de las escuelas no solo es formar a los estudiantes como participantes activos y agentes de cambio de la transformación, sino enseñarles cómo los conocimientos, las destrezas y actitudes positivas hacia la protección del ambiente pueden propagarse y apropiarse manera consciente en sus comunidades (Congreso de la República, 2012). Los modelos de economía circular resultan muy propicios en este contexto, aunque surge el interrogante del impacto que podrían tener este tipo de iniciativas, que reincorporan los desechos a las cadenas productivas como materia prima para activar modelos de producción y consumo sostenible en entornos escolares y comunitarios. Además, se evidencia que es necesario y fundamental evaluar cómo esta iniciativa puede influir en la dinámica de las comunidades, optimizando las condiciones de vida de sus integrantes. La implementación de una estrategia de economía circular en las escuelas no solo puede servir como un modelo educativo innovador, sino también como un motor para el desarrollo sostenible, que impulse la productividad local al generar beneficios económicos y sociales. Este enfoque integral beneficiaría tanto al medio ambiente como a la prosperidad de las comunidades locales, por ejemplo, fomentando prácticas de reciclaje y reutilización, o creando oportunidades de empleo para recicladores de oficio que contribuyan a la economía local y a la inclusión social.

## Materiales y metodos

### Área de estudio

La Institución Educativa se encuentra localizada en el corregimiento Palmira, el cual se ubica al oriente del casco urbano de Tierralta a 7 km, en la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural Paramillo. La Escuela la integran estudiantes de las veredas Alto Juí, el Mochón, San Rafael, Nueva Esperanza, Las Pailas, Los guayabos, Canutillal y Revuelto. La población presenta condiciones de desarrollo más orientadas hacia lo rural y una economía tradicional dependiente, en gran parte o totalmente, de los recursos naturales: se desarrollan actividades

agrícolas, forestales y de producción de hoja de coca (cultivos de uso ilícito), que actualmente sostienen la economía local (CVS y EAFIT, 2013).

### Revisión bibliográfica

Con el fin de identificar tendencias, patrones de investigación y aportes relevantes en el tema, se realizó un análisis bibliométrico de búsqueda, abarcando las publicaciones desde el año 2017 hasta el 2024, en las plataformas Open Knowledge Maps (<https://openknowledgemaps.org/>), Scopus (Elsevier) y Mendeley, empleando las palabras clave “residuos sólidos”, “economía circular”, “estudiantes”, “gestión de residuos sólidos”, “educación ambiental”, “solid waste,” “students”, “circular economy”, y “schools rural”.

### Caracterización sociodemográfica de la escuela

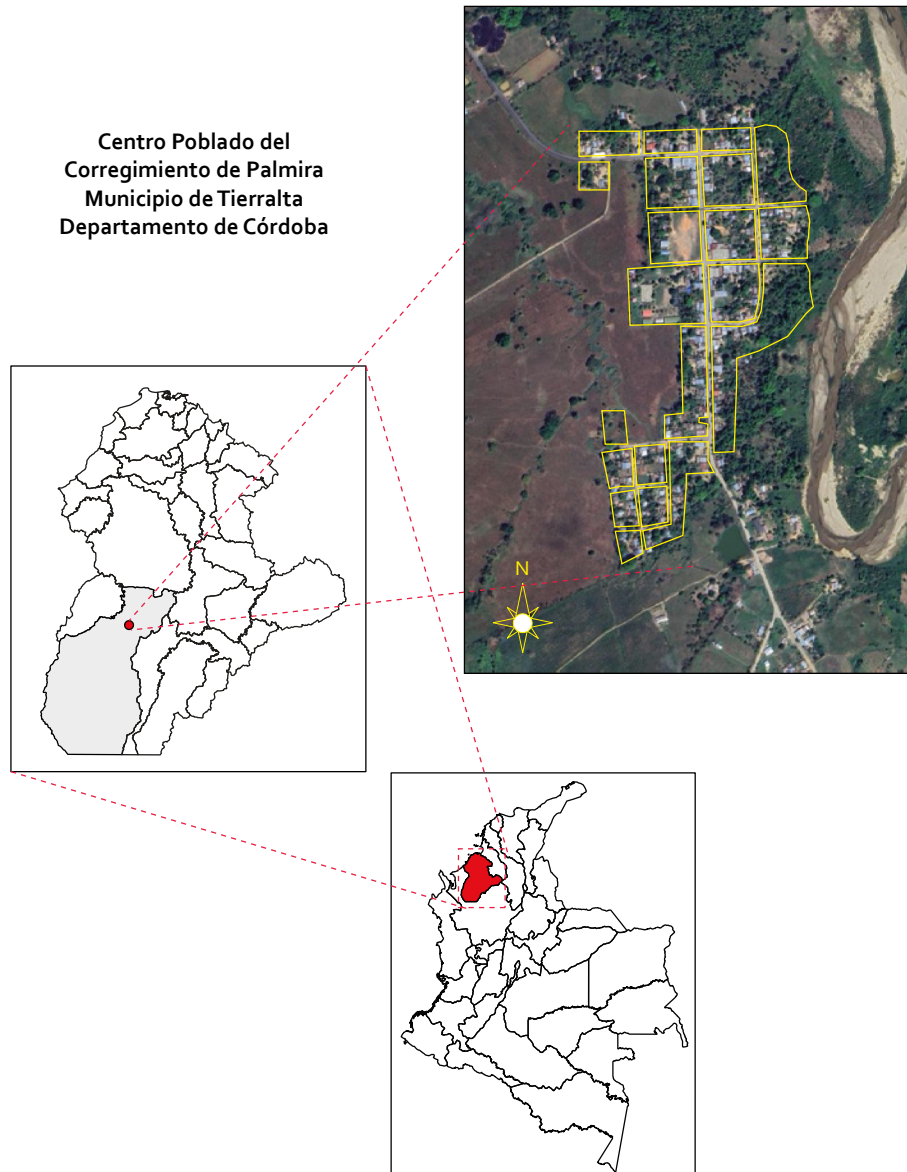
Se realizó una encuesta a una muestra aleatoria de la población estratificada de 253 estudiantes, con un 95% de nivel de confianza. Este método de muestreo garantizó la representación proporcional de cada nivel educativo en la muestra. Las preguntas se enfocaron en aspectos como: Conocimiento, Participación y percepción del impacto ambiental de la gestión de residuos.

Por medio de un análisis de Machine learning usando la correlación del método Pearson se midió la fuerza y la dirección de la relación lineal entre las variables estudiadas. Y se implementó un modelo de regresión logística para identificar las variables que mejor predicen la participación de los estudiantes en la gestión de residuos. El rendimiento del modelo se evaluó mediante las métricas de precisión, recall y F1-score. (Cerna-Cueva et al., 2022).

### Predicción de la generación de residuos

Se pesaron los residuos generados durante 20 días, registrando los pesos por kilogramo de diferentes tipos: papel y archivo, plásticos, botellas PET y cartón. El conjunto de datos se analizó bajo el modelo de Machine learning, el cual se dividió en dos partes: entrenamiento y prueba. Se entrenaron diferentes modelos de aprendizaje automático para predecir la cantidad de residuos, incluyendo regresión lineal, redes neuronales y Random Forest. El

Figura 1. Área de estudio



Nota. Fuente: CVS & EAFIT, 2013

rendimiento de los modelos se evaluó utilizando métricas como el error cuadrático medio (MSE) y el error absoluto medio (MAE). Para predecir la cantidad de residuos en el futuro, se generaron datos sintéticos con características similares a los datos reales. Estos datos sintéticos se normalizaron y luego se utilizaron para realizar predicciones con los modelos entrenados. Las predicciones futuras se visualizaron mediante gráficos y se evaluaron las correlaciones entre diferentes características y la cantidad de residuos utilizando la correlación de Spearman. Solo se consideraron las correlaciones significativas, con un coeficiente mayor a 0.3.

## Diseño de guía de gestión de residuos sólidos en escuelas rurales

Teniendo en cuenta la caracterización de la población y la predicción de la generación de residuos, se diseñó una guía de educación ambiental encaminada a la gestión eficiente de los desechos en los entornos escolares rurales. Se tuvieron en cuenta los atributos de sostenibilidad como la autogestión, estabilidad, cuidado ambiental, equidad y dinamización de la población estudiantil para implementar la metodología y las actividades (Quitán & Acevedo, 2024). Adicionalmente, esta guía servirá de insumo



fundamental para el diseño de una aplicación móvil que facilite el seguimiento de los indicadores, como la cantidad de residuos reciclados y la participación de los estudiantes. A través de esta herramienta digital, se buscará potenciar el impacto de la guía y promover una gestión de residuos más eficiente y sostenible en las escuelas rurales\*.

## Resultados

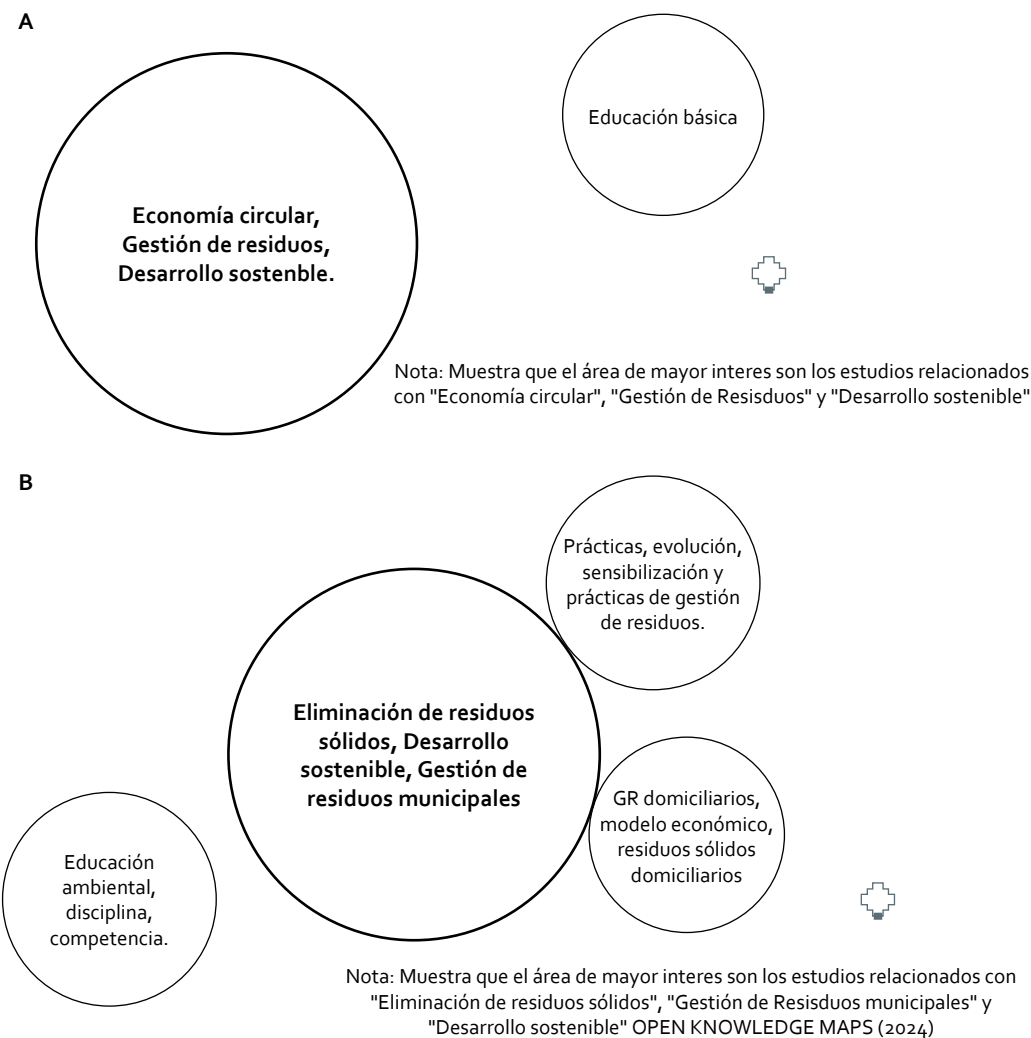
### Revisión Bibliográfica

Al utilizar las ecuaciones de búsqueda: “Gestión de residuos”, “Economía circular” y “estudiantes”, se encontraron seis artículos relevantes, los cuales abordan el desarrollo sostenible, el manejo de residuos

sólidos y la economía circular. A nivel local, se destaca la importancia de ejecutar el modelo de economía circular en instituciones educativas rurales para concientizar a los estudiantes sobre prácticas sostenibles en relación con el manejo de residuos sólidos. A nivel internacional, la búsqueda con la ecuación en inglés: “solid waste”, “students”, “circular economy”, “schools rural” arrojó una referencia temática que resalta la necesidad de establecer estrategias sostenibles en instituciones rurales para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Posteriormente, con la información aportada por los artículos recuperados se crearon mapas de conocimiento para enlazar los conceptos mencionados anteriormente con nueva información pertinente a

**Figura 2.** Mapas de conocimiento, A. generados con la ecuación: “residuos sólidos”, “Economía circular” y “estudiantes”; B. generado con la ecuación: “gestión de residuos” y “educación ambiental”



Nota. Fuente: autores, 2024

\* En este artículo se trabajó la fase diagnóstica de la iniciativa. En una próxima investigación se diseñará la app.

nivel local, regional e internacional (Dueñas *et al.*, 2011) (figura 2). Estos mapas ayudan a visualizar cómo se relacionan diferentes aspectos propios del manejo de residuos, la economía circular y la educación ambiental, proporcionando bases para la planeación de estrategias más efectivas y sostenibles.

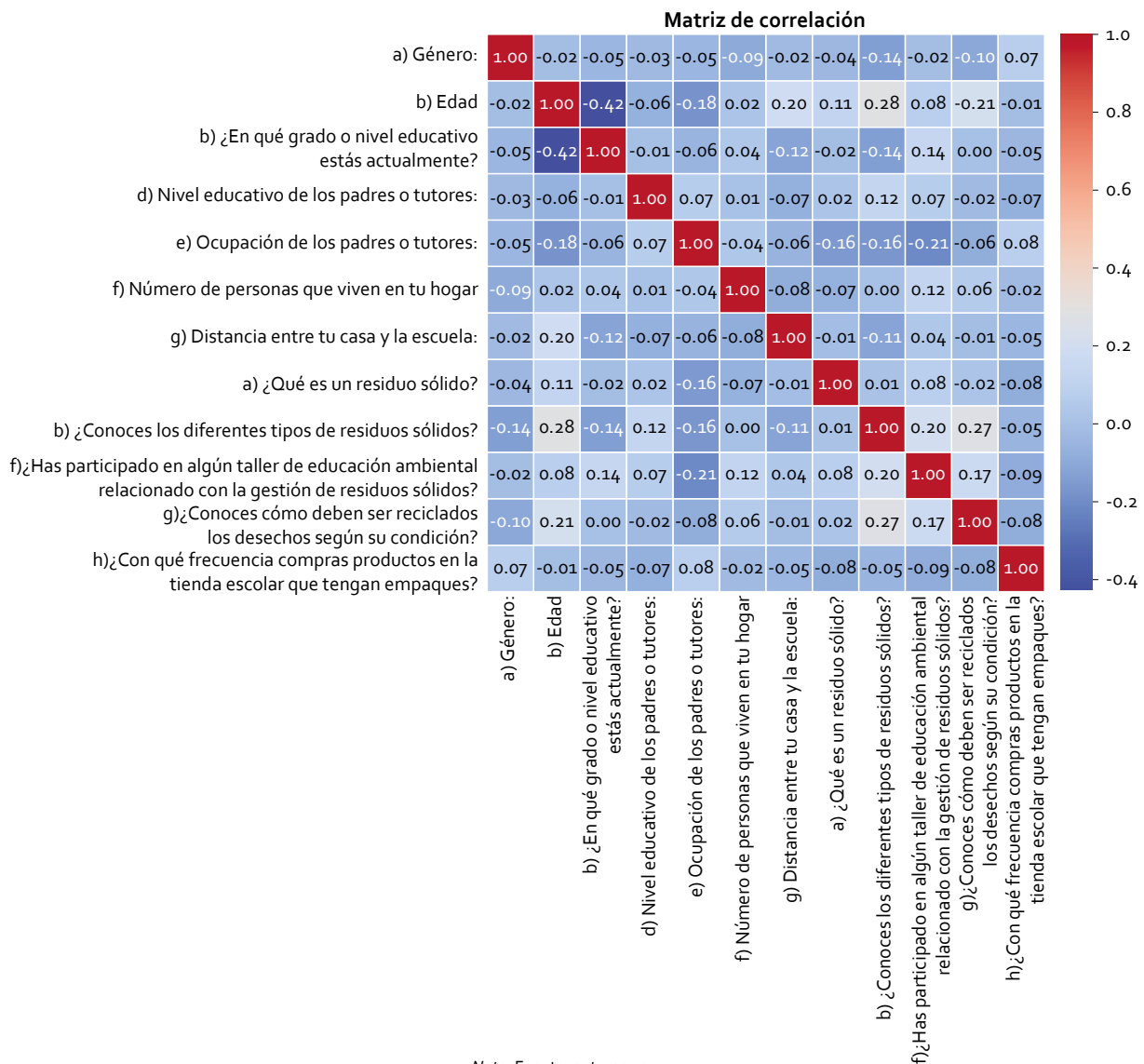
## Caracterización sociodemográfica de la escuela

A partir de la información obtenida en las encuestas se establecieron diferentes categorías de análisis para entender las relaciones entre las variables demográficas y de comportamiento relacionadas con

la educación y la gestión de residuos. Utilizando una matriz de correlación (figura 3), se identificaron tres correlaciones significativas:

Inicialmente, existe una fuerte correlación (0,88) entre el grado de escolaridad de los padres y el nivel de exigencia educativa de sus ocupaciones, indicando que, a mayor nivel educativo, hay mayores oportunidades de acceder a trabajos que requieren una mayor preparación académica. En segundo lugar, la correlación (0,27) entre la participación en talleres de educación ambiental y los aprendizajes de prácticas de reciclaje, sugiriendo que estos talleres contribuyen significativamente a un mejor entendimiento

Figura 3. Matriz de Correlación entre Variables Demográficas, comportamentales en Educación Ambiental y Gestión de Residuos



Nota. Fuente: autores, 2024

de cómo reciclar de manera adecuada. Y por último, una correlación (0,28) entre la edad de los encuestados y su conocimiento sobre la clasificación de los diversos tipos de residuos sólidos, lo cual concuerda con investigaciones previas que demuestran que el nivel educativo impacta significativamente en las oportunidades de empleo y las ocupaciones que las personas pueden alcanzar.

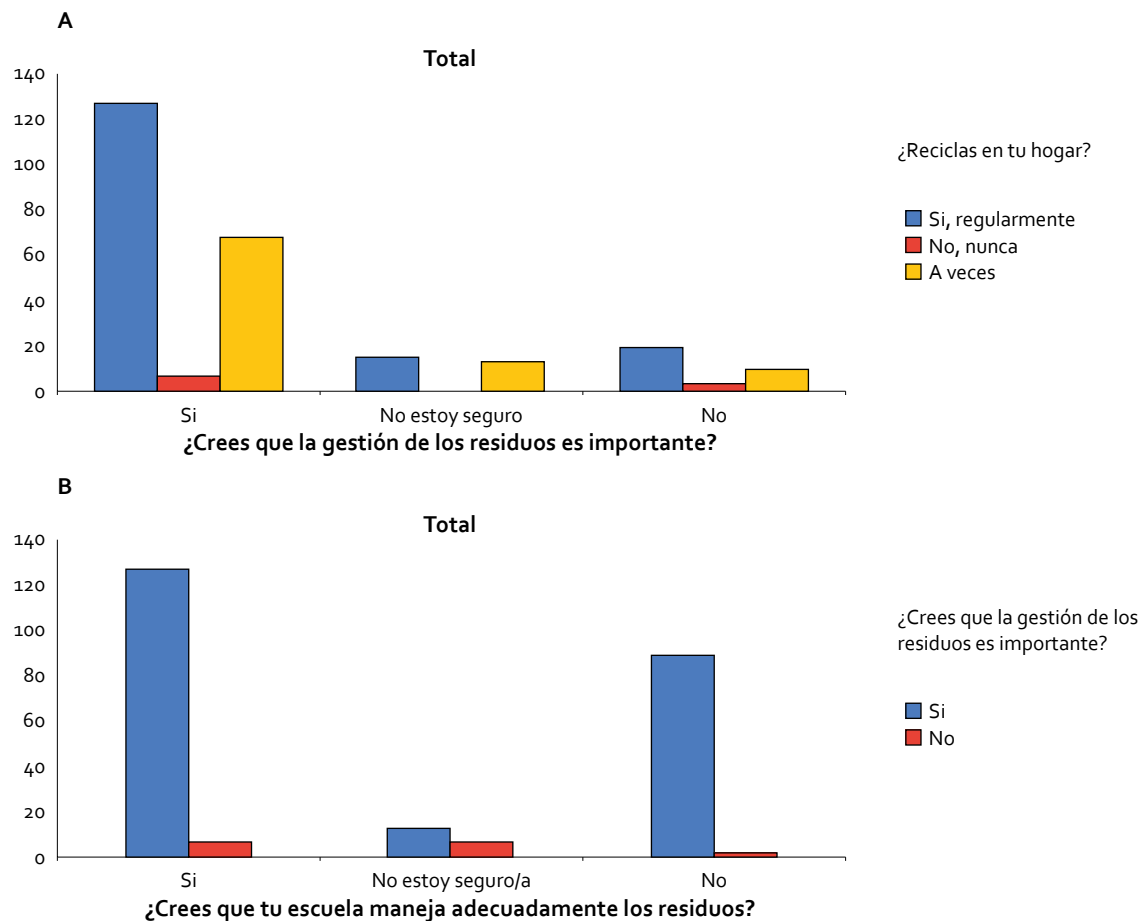
Al analizar las encuestas se mostró una relación directa entre las prácticas de reciclaje en el hogar y la valoración de la gestión adecuada de residuos (figura 4A). Los estudiantes que reciclan regularmente consideran más importante una buena gestión de los residuos, mientras aquellos que no reciclan, o que lo hacen esporádicamente, valoran significativamente menos dicha gestión. La figura 4B muestra una conexión similar entre la impresión de los estudiantes sobre la gestión de los desechos en su escuela y su importancia. Aunque la mayoría considera crucial

lograr una buena gestión de residuos, muchos perciben que su escuela no cumple con este requisito. Incluso, muchos de los que recalcan la importancia de gestionar los residuos dudan de la calidad de esta actividad en la institución. Por último, se notó que aquellos que minimizan la importancia de la gestión suelen tener una percepción negativa de las prácticas en la escuela.

El análisis revela una relación interesante entre las prácticas de reciclaje y el consumo de productos empaquetados entre los estudiantes (figura 5), la cual indica que aquellos que reciclan con frecuencia no necesariamente reducen su consumo de productos empaquetados.

Al indagar en las percepciones sobre la gestión de residuos sólidos (figura 6), se evidencia la relevancia de fortalecer la concienciación ambiental en todos los grados de formación, enfatizando la población estudiantil de básica secundaria.

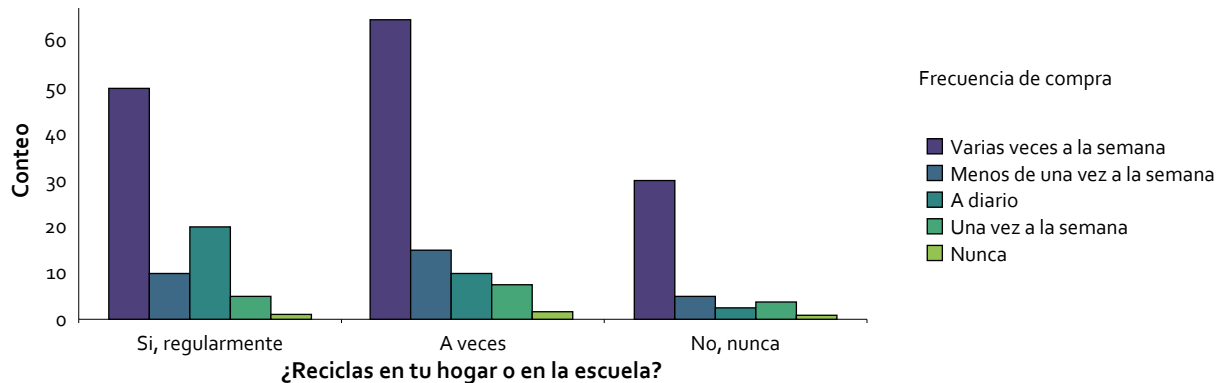
**Figura 4.** Importancia de la gestión de residuos A. practica de reciclaje en el hogar. B. Gestión de residuos en la escuela



Nota. Fuente: autores, 2024



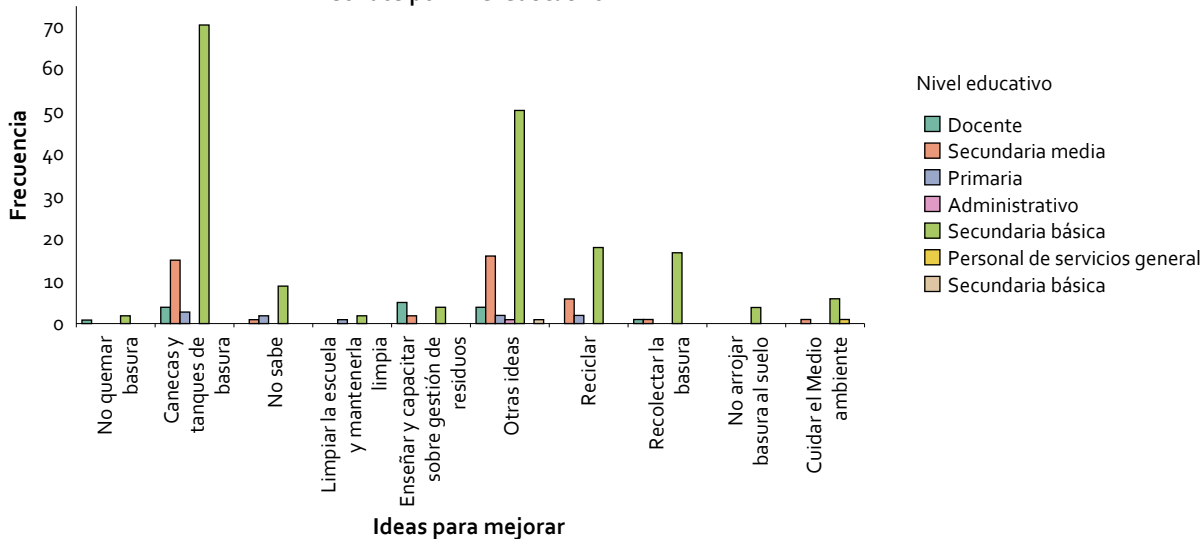
Figura 5. Prácticas de reciclaje vs Frecuencia de compra de productos con empaques



Nota. Fuente: Autores, 2024

Figura 6. Gestión de Residuos Sólidos en la institución

#### Frecuencia de ideas para mejorar la gestión de residuos sólidos por nivel educativo



Nota. Fuente: Autores, 2024

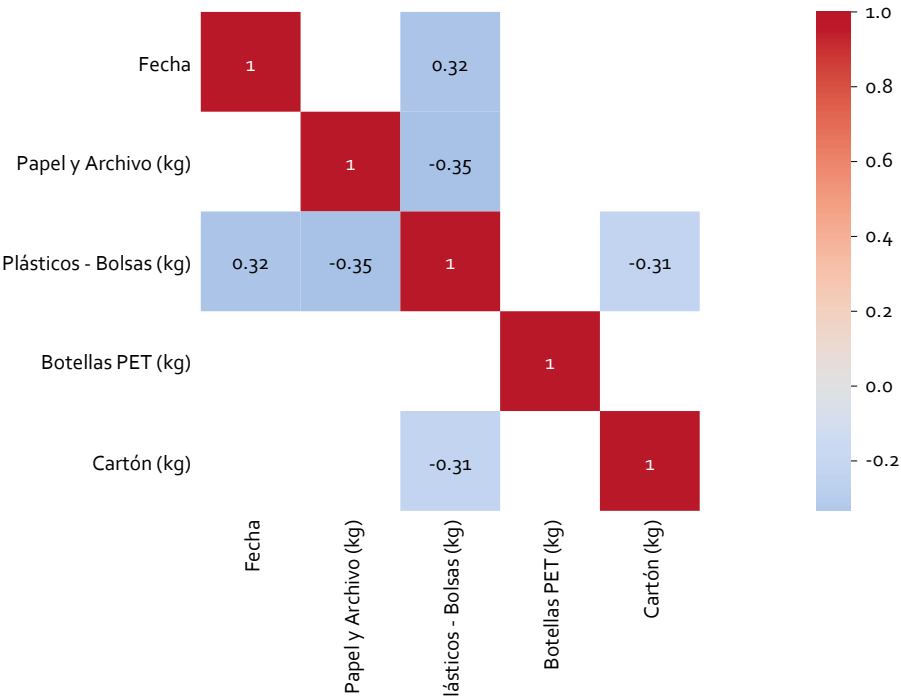
## Predicción en la generación de residuos

El análisis de correlación de Spearman (Figura 7) reveló patrones interesantes en la composición de los residuos. Se detectó un leve incremento en el uso de bolsas plásticas a lo largo del tiempo ( $r = 0.32$ ), sugiriendo un crecimiento gradual de la utilización de este tipo de elementos. Por otro lado, existe una relación inversa entre las bolsas plásticas y el cartón ( $r = -0.31$ ).

En las gráficas de predicción (Figura 8) se observa una discrepancia notable en los resultados obtenidos por los algoritmos de Random Forest (figura 8A) y Red Neuronal (figura 8B). Con Random Forest se predice un aumento de papel y cartón, y una disminución en los residuos plásticos y PET. La Red

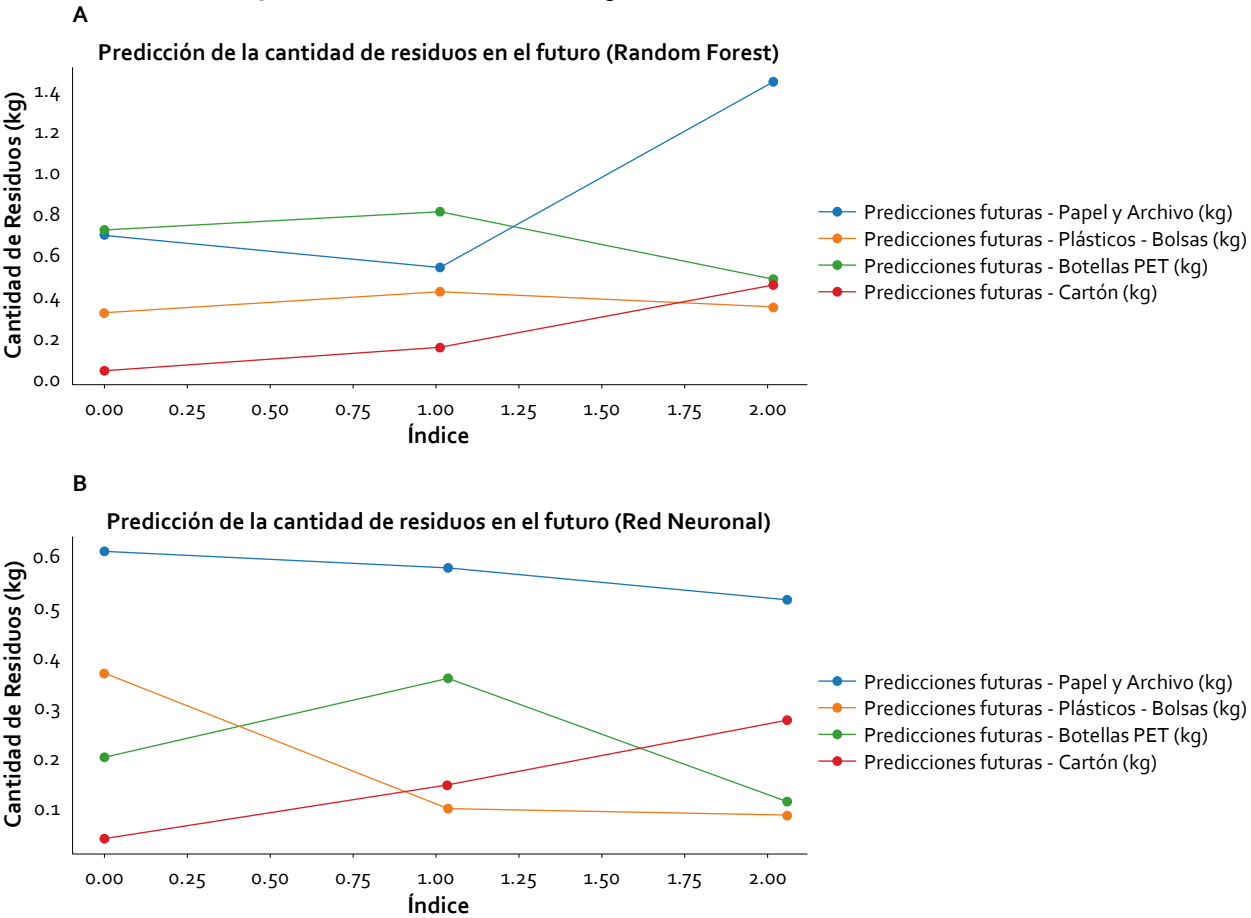
Neuronal presenta un patrón distinto de predicción, una disminución en los residuos de papel y archivo, con fluctuaciones en el cartón y los plásticos, la gran disparidad entre el rendimiento del modelo con los datos de entrenamiento (11.159) y en el conjunto de prueba (0.279) sugiere un fuerte sobreajuste, lo que explica las diferencias observadas. En cuanto la precisión de los modelos, Random Forest presenta un desempeño significativamente mejor tanto en el conjunto de entrenamiento como en el de prueba, evidenciado por una reducción sustancial, tanto del error cuadrático medio (MSE) como del error absoluto medio dándole mayor robustez y precisión a la predicción.

Figura 7. Mapa de las correlaciones significativas de Spearman



Nota. Fuente: autores, 2024

Figura 8. Predicción de residuos. A. Algoritmo Random Forest. B. Red neuronal



## Guía de manejo de residuos sólidos en escuelas rurales

Se estableció una guía estandarizada mediante la cual se pueda trabajar en la búsqueda de la conciencia ambiental y, al mismo tiempo, equipar a los estudiantes con herramientas prácticas para gestionar los residuos de manera responsable en las instituciones educativas y sus hogares (Duque *et al.*, 2022) (Anexo 1).

## Discusión

Los estudios revisados coinciden en que la educación, la economía circular y la participación ciudadana son elementos clave para gestionar integralmente los residuos sólidos en entornos rurales, promoviendo el desarrollo sostenible, el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la mejora de la calidad de vida.

Sin embargo, la adecuada gestión de residuos requiere educar a las comunidades en prácticas responsables con el ambiente. Florez *et al.* (2023) proponen programas educativos enfocados en la valorización de residuos, mientras que Owojori *et al.* (2022) resaltan la importancia de promover prácticas circulares a nivel comunitario. En esta línea, Churrio y Narváez (2022) sugieren incorporar estrategias de economía circular en instituciones educativas rurales, fortaleciendo la conexión entre teoría y práctica.

La economía circular emerge como una solución integral frente a los desafíos ambientales y socioeconómicos de las comunidades rurales. Esta estrategia no solo fomenta la gestión sostenible de residuos, sino que también genera oportunidades económicas, fortalece el tejido social y reduce el impacto ecológico, contribuyendo al desarrollo sostenible (Feronato *et al.*, 2019; Sharma *et al.*, 2021; Mihai *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2021).

Estudios como los de Cerna-Cueva *et al.* (2022) destacan que el nivel adquisitivo y educativo de las personas influye en la generación de residuos sólidos, estableciendo una correlación entre la generación per cápita y el nivel académico del proveedor familiar ( $r = 0,07$ ). De manera similar, Spiro (2015) señala que la población con educación secundaria y universitaria tiene un impacto significativo en la

generación de desechos, subrayando la importancia de la educación en el manejo adecuado de los mismos.

Los resultados sugieren un vínculo claro entre las acciones individuales de los estudiantes y sus percepciones sobre la gestión institucional de residuos. Esto concuerda con investigaciones que indican que las prácticas de reciclaje en el hogar y los programas educativos escolares influyen positivamente en la percepción y conducta de los estudiantes respecto a la disposición de desechos (Rada *et al.*, 2016; Taghdisi *et al.*, 2021; Söderberg, Wester, & Jonsson, 2022).

La discrepancia entre los hábitos de consumo y las prácticas de reciclaje pone de manifiesto la necesidad de abordar factores socioculturales y psicológicos que influyen en las elecciones de consumo de los estudiantes y en la efectividad de las estrategias educativas para fomentar hábitos sostenibles (Schill *et al.*, 2020). Además, la limitada separación de residuos y la demanda de programas de concienciación ambiental reflejan una brecha entre el conocimiento y las prácticas de gestión de residuos en las instituciones educativas. Es fundamental implementar estrategias pedagógicas innovadoras y contextualmente adaptadas como herramientas clave para avanzar hacia un modelo circular en el ámbito escolar (Owojori *et al.*, 2022; Salmenperä *et al.*, 2021; Maed *et al.*, 2023).

La alta prevalencia del plástico en los desechos generados por estudiantes, según lo indicado por Heiges *et al.* (2022), sugiere que las preferencias de consumo de productos empaquetados influyen significativamente en la composición de los residuos. Esto subraya la necesidad de promover cambios en los patrones de consumo y concienciar sobre los impactos ambientales.

Por otro lado, los modelos de aprendizaje automático, como Random Forest y Redes Neuronales, han demostrado ser útiles para la predicción de residuos. Mientras que Random Forest se beneficia de un conjunto de datos inicial robusto, las Redes Neuronales requieren actualizaciones continuas para mantener su precisión. Estas herramientas ofrecen importantes implicaciones para diseñar estrategias de acopio y manejo de datos, adaptadas a las necesidades específicas de cada modelo (Meza *et al.*, 2019;

Nguyen et al., 2021; Namoun *et al.*, 2022; Mudanayake *et al.*, 2022). Sin embargo, estos modelos no establecen relaciones causales sobre factores como preferencias de consumo o programas de gestión de residuos. Como señalan Namoun *et al.* (2022), los algoritmos pueden predecir aspectos como la clasificación de desechos, los volúmenes generados y los niveles de llenado, pero no sus causas. Por ello, se requiere evaluar las iniciativas de reciclaje y analizar su impacto en la generación de residuos para obtener una visión más integral de esta problemática.

Finalmente, es importante destacar que las estrategias pedagógicas diseñadas en función de las edades y niveles educativos, que integren actividades lúdicas y colaborativas, han demostrado ser efectivas para capacitar y motivar a los estudiantes en la gestión de residuos. Estas actividades, combinadas con incentivos, pueden fomentar la participación activa de los estudiantes en iniciativas sostenibles, atrayendo su interés y compromiso (Abila & Kantola, 2019; Chong & Mapa, 2019; Zhou *et al.*, 2021).

## Conclusiones

Para avanzar hacia la sostenibilidad, es fundamental implementar estrategias de economía circular en instituciones educativas rurales. La reducción de residuos, la generación de ingresos locales y la concienciación ambiental son objetivos alcanzables si se integra la educación ambiental y la participación comunitaria. Sin embargo, es necesario superar desafíos como la falta de infraestructura, la escasa capacitación y los inadecuados hábitos de consumo. Futuras investigaciones podrían analizar los efectos duraderos de estas iniciativas y explorar su replicabilidad en diferentes contextos rurales.

Por otra parte, los modelos de *Machine Learning* son una herramienta valiosa para la gestión de residuos, pues permiten comprender las tendencias en la generación y diseñar estrategias eficientes. Sin embargo, es fundamental complementar estas predicciones con un análisis cualitativo de las causas que generan los desechos para lograr un cambio sostenible en los hábitos de consumo y en la reducción del impacto ambiental.

Por último, se destaca que el desarrollo de una guía estandarizada demostró ser un instrumento

esencial para promover prácticas ambientales sostenibles y para fomentar la gestión responsable de los residuos en instituciones educativas. Esto porque, al combinar estrategias lúdicas y colaborativas se capacita a los estudiantes a la vez que se promueve su participación, contribuyendo así a formar ciudadanos activos, más comprometidos con el cuidado del medio ambiente.

## Agradecimientos

A los estudiantes pertenecientes al comité ambiental (Centinelas del ambiente) de la Institución Educativa Palmira de Tierralta, Córdoba, por su compromiso, entrega y colaboración en el desarrollo del estudio. A la Fundación Universitaria del Área Andina sede Valledupar y su programa de maestría en Gestión ambiental por su recurso humano.

## Referencias

- Abila, B., & Kantola, J. (2019). The Perceived Role of Financial Incentives in Promoting Waste Recycling—Empirical Evidence from Finland. *Recycling*. <https://doi.org/10.3390/RECYCLING4010004>
- Chong, O., & Mapa, M. (2019). SMK BAHANG STUDENTS PERCEPTIONS REGARDING RECYCLING PROGRAM., 4, 162-182. <https://doi.org/10.35631/ijepc.4330014>
- Cortés, C. M. (2018). *Estudio de los residuos sólidos en Colombia*. U. Externado de Colombia. (p. 17). <https://bdigital.ueexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/34996da5-2eab-4fc3-ad8b-2eb67a322507/content>
- Churio Romero, J. J., & Narváez Mejía, J. E. (2022). Economía circular: un modelo hacia el desarrollo sostenible a nivel de la educación básica. *Revista Actividad Física y Ciencias*, Edición Especial “Educación, Turismo y Ambiente”. <https://doi.org/10.56219/actividadfisicacycienciasphysicalactivityandscience.v14i3.1003>
- Dueñas, M., Rojas, D., & Morales, M. E. (2011). Propuesta metodológica para realizar mapas de conocimiento. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 20(1). <https://doi.org/10.18359/rfce.2186>
- Emara, K. (2023). Sustainable solid waste management in rural areas: A case study of Fayoum governorate, Egypt. *Energy Nexus*, 9, 100168. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427122001231>
- Ferronato, N., Rada, E., Portillo, M., Cioca, L., Ragazzi, M., & Torretta, V. (2019). Introduction of the circular economy within developing regions: A comparative

- analysis of advantages and opportunities for waste valorization. *Journal of environmental management*, 230, 366-378. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.095>
- Florez-Acuña, Z., Oyaga-Martínez, R., & Troncoso-Palacio, A. (2023). Una Estrategia Pedagógica Desde la Visión Reflexiva para la Concientización de la Gestión de Residuos Sólidos Plásticos en Comunidades Educativas: Pedagogical strategy in waste management. *Boletín De Innovación, Logística Y Operaciones*, 5(1), 139-148. <https://doi.org/10.17981/bilo.5.1.2023.14>
- Heiges, J., Lee, D., Vollmer, L., Wobbekind, K., Thompson, H., Gosliner, W., Madsen, K., O'Neill, K., & Ritchie, L. (2022). Evaluación de los residuos de envases de alimentos en las escuelas: una revisión sistemática de la literatura. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095607>
- Hoy, Z., Phuang, Z., Farooque, A., Van Fan, Y., & Woon, K. (2024). Municipal solid waste management for low-carbon transition: A systematic review of artificial neural network applications for trend prediction. *Environmental pollution*, 123386. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123386>
- Jiménez Villavicencio, G. R. (2022). Análisis y perspectivas de la gestión integral de residuos sólidos hacia la economía circular en el contexto peruano. *Innova Biology Sciences*, 2(1). <https://doi.org/10.58720/ibs.v2i1.38>
- Lima, P., Morais, M., Constantino, M., Paulo, P., & Filho, F. (2021). Evaluación ambiental del manejo de residuos en el Brasil rural: Mejoras hacia la economía circular., 2, 100013. <https://doi.org/10.1016/J.CESYS.2021.100013>.
- López López, G. G., Julio Galvis, G. A., & Pérez Vásquez, N. S. (2020). Caracterización de prácticas ambientales en relación con el manejo de recursos y cuidado del entorno escolar rural. *Revista de Investigación Educativa y Pedagógica*, 5(9), Sistema de Universidades Estatales del Caribe Colombiano (SUE Caribe). ISSN: 2619-3884. <https://pdfs.semanticscholar.org/6c78/0cbb4643188d50ea4e826e33af12afdaaa92.pdf>.
- Los Andes, U., & Greenpeace. (2019). Situación actual de los plásticos en Colombia y su impacto en el medio ambiente. Greenpeace, 14. [http://greenpeace.co/pdf/2019/gp\\_informe\\_plasticos\\_colombia\\_02.pdf](http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf).
- Maed, T., Mpsyc, N., & Phd, E. (2023). Implementación del Programa de Manejo de Residuos Sólidos (PST) en Escuelas Públicas: Un Diseño de Investigación de Métodos Mixtos Paralelos Convergentes. *Revista Internacional de Estudios de Ciencia y Gestión (IJSMS)*. <https://doi.org/10.51386/25815946/ijms-v6i2p115>.
- Meza, J., Yepes, D., Rodrigo-Illari, J., & Cassiraga, E. (2019). Predictive analysis of urban waste generation for the city of Bogotá, Colombia, through the implementation of decision trees-based machine learning, support vector machines and artificial neural networks. *Heliyon*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02810>.
- Mihai, F., Gündoğdu, S., Markley, L., Olivelli, A., Khan, F., Gwinnett, C., Gutberlet, J., Reyna-Bensusan, N., Llanquileo-Melgarejo, P., Meidiana, C., Elagroudy, S., Ishchenko, V., Penney, S., Lenkiewicz, Z., & Molinos-Senante, M. (2021). Contaminación por plásticos, problemas de gestión de residuos y oportunidades de economía circular en comunidades rurales. *Sostenibilidad*. <https://doi.org/10.3390/su14010020>.
- Mudannayake, O., Rathnayake, D., Herath, J., Fernando, D., & Fernando, M. (2022). Exploración de enfoques de aprendizaje automático y aprendizaje profundo para la previsión de varios pasos en la generación de residuos sólidos urbanos. *Acceso IEEE*, 10, 122570-122585. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3221941>.
- Munir, M. T., Li, B., & Naqvi, M. (2023). Revolutionizing municipal solid waste management (MSWM) with machine learning as a clean resource: Opportunities, challenges and solutions. *Fuel*, 348, 128548. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236123011614>.
- Namoun, A., Tufail, A., Khan, M., Alrehaili, A., Syed, T., & Benrhouma, O. (2022). Generación y eliminación de residuos sólidos utilizando enfoques de aprendizaje automático: un estudio de soluciones y desafíos. *Sostenibilidad*. <https://doi.org/10.3390/su142013578>.
- Nguyen, X., Nguyen, T., La, D., Kumar, G., Kumar, G., Rene, E., Nguyen, D., Chang, S., Chung, W., Nguyen, X., & Nguyen, V. (2021). Desarrollo de modelos basados en aprendizaje automático para pronosticar la generación de residuos sólidos en áreas residenciales: un estudio de caso de Vietnam. *Recursos, Conservación y Reciclaje*. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.105381>.
- Owojori, O., Mulaudzi, R., & Edokpayi, J. (2022). Student's Knowledge, Attitude, and Perception (KAP) to Solid Waste Management: A Survey towards a More Circular Economy from a Rural-Based Tertiary Institution in South Africa. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031310>.
- Rada, E., Bresciani, C., Girelli, E., Ragazzi, M., Schiavon, M., & Torretta, V. (2016). Análisis y medidas para mejorar la gestión de residuos en los centros educativos. *Sostenibilidad*, 8, 1-12. <https://doi.org/10.3390/SU8090840>.
- Rodríguez-Martín, A., Palomo-Zurdo, R., & González-Sánchez, F. (2020). Transparencia y economía circular: análisis y valoración de la gestión municipal de los residuos sólidos urbanos. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 99. <https://doi.org/10.7203/ciriec-e.99.16011>.

- Salmenperä, H., Pitkänen, K., Kautto, P., & Saikku, L. (2021). Factores críticos para potenciar la economía circular en la gestión de residuos. *Revista de Producción Limpia*, 280, 124339. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124339>
- Sánchez Cifuentes, A. M. (2019). Formulación de estrategias para el manejo y disposición adecuada de los residuos sólidos, mediante la educación y acción comunitaria en la vereda de San Luis en el municipio de Ubalá, Cundinamarca. Monografía de Administración Ambiental. Universidad Distrital Francisco José de Calda, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Administración Ambiental. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/9d10ba60-5d50-4672-9c7e-dcf13cd623f6/content>
- Schill, M., Godefroit-Winkel, D., & Hogg, M. (2020). Young children's consumer agency: The case of French children and recycling. *Journal of Business Research*, 110, 292-305. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.01.030>
- Sharma, H., Vanapalli, K., Samal, B., Cheela, V., Dubey, B., & Bhattacharya, J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. *The Science of the Total Environment*, 800, 149605-149605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605>
- Söderberg, I., Wester, M., & Jonsson, A. (2022). Exploring Factors Promoting Recycling Behavior in Student Housing. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14074264>
- Taghdisi, M., Estebarsari, F., Gholami, M., Hosseini, A., Milani, A., Abolkheirian, S., & Kandi, Z. (2021). Un programa de formación de reciclaje en origen para estudiantes de primaria: Aplicación del modelo de escuelas promotoras de salud. *Educación y Comunicación Ambiental Aplicada*, 21, 102-117. <https://doi.org/10.1080/1533015X.2021.2001392>
- Tagle Zamora, D., & Carrillo González, G. (2022). Gestión de residuos sólidos en León, Guanajuato: indicio de economía circular y de los objetivos del desarrollo sostenible. *Región y Sociedad*, 34. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1583>
- Zhou, J., Jiang, P., Yang, J., & Liu, X. (2021). Designing a smart incentive-based recycling system for household recyclable waste. *Waste management*, 123, 142-153. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.030>

## ANEXO 1.

### Guía gestión de residuos sólidos en escuelas rurales

**Objetivo:** Implementar un sistema de gestión de residuos sólidos en escuelas rurales que promueva la reducción, reutilización y el reciclaje, basado en las predicciones de generación de residuos (papel, cartón y plásticos) adaptable a las características de cada institución.

Tabla 1. Metodología

Etapas	Actividades	Resultados
<b>Diagnóstico</b>	El diagnóstico inicial debe realizarse para caracterizar a la población estudiantil en base a los conocimientos previos sobre conceptos básicos (reciclaje, hábitos de consumo, separación de residuos y disposición final). De igual manera se debe realizar durante unas 4 semanas la recolección y pesaje de los residuos generados para cuantificar el material que puede ser aprovechado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Focalización de la población</li> <li>• Inventario de los residuos generados</li> <li>• Evaluación de la infraestructura y la disponibilidad de recursos.</li> </ul>
<b>Incorporación de la Predicción</b>	<p><b>Planificación de la recolección:</b> Ajustar los horarios y frecuencias de recolección de residuos en función de las predicciones de generación.</p> <p><b>Optimización de la infraestructura:</b> Adaptar la cantidad y tipo de contenedores de reciclaje en función de las predicciones.</p> <p><b>Comunicación de los resultados:</b> Informar a la comunidad educativa sobre los resultados de las predicciones y cómo estos influyen en el plan de gestión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bases para implementar el plan de gestión de residuos</li> </ul>

Continúa



Etapa	Actividades	Resultados
Plan de gestión	<p><b>Capacitación</b></p> <p><b>Preescolar (3-5 años)</b></p> <p><b>Juegos de clasificación:</b> Utilizar contenedores de diferentes colores y formas para clasificar residuos simulados (pelotas de colores, papeles de colores).</p> <p><b>Cuentos y canciones:</b> Crear historias y canciones sobre la importancia de reciclar y cuidar el medio ambiente.</p> <p><b>Manualidades con materiales reciclados:</b> Elaborar objetos decorativos o juguetes utilizando materiales reciclados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento porcentual de estudiantes concientizados en la adecuada gestión de los residuos.</li> <li>• Disminución en la generación de residuos</li> <li>• Mejor imagen de la Institución Educativa</li> <li>• Cumplimiento de la normatividad ambiental</li> </ul>
	<p><b>Primaria (6-12 años)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Talleres de separación de residuos:</b> Por medio de juegos digitales (<a href="https://www.cokitos.com">https://www.cokitos.com</a>) se les enseña a los niños a separar de forma correcta los residuos mientras usan las TIC y se divierten.</li> <li>• <b>Experimentos científicos:</b> Por medio de la ciencia se les enseña como los factores externos (sol, agua, aire y microorganismos) realizan la descomposición de diferentes materiales.</li> <li>• <b>Visitas guiadas:</b> Organizar visitas a centros de reciclaje locales para que valoren y le den la importancia a la labor de reciclar.</li> </ul>	
	<p><b>Secundaria (13-18 años)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Proyectos de investigación:</b> Realizar investigaciones sobre temas relacionados con la gestión de residuos, como el impacto ambiental de los plásticos o la economía circular.</li> <li>• <b>Campañas de sensibilización:</b> Diseñar y ejecutar campañas creativas para promover el reciclaje y la reducción de residuos.</li> <li>• <b>Concurso de ideas innovadoras:</b> Organizar un concurso para buscar soluciones creativas a la problemática de los residuos.</li> </ul> <p>Este plan de capacitación debe ser continuo y cada institución debe planear los objetivos a lograr, las metas a corto y largo plazo, el cronograma de realización de dichas actividades y la responsabilidad en cada nivel educativo de las actividades.</p>	
	<p><b>Adecuación de la infraestructura</b></p> <p>Se implementará un sistema de recolección selectiva en toda la institución, dotando a cada espacio (aulas, oficinas, comedor) de contenedores etiquetados para la separación en la fuente de papel y cartón, plásticos y metales, y orgánicos. Los residuos clasificados serán almacenados temporalmente en un área designada hasta su recolección por la empresa de reciclaje, optimizando así el proceso de gestión</p>	

Continúa

Etapa	Actividades	Resultados
Evaluación e incentivos	<p>Para evaluar la apropiación de las capacitaciones e implementar el uso de la infraestructura se proponen dos estrategias de participación de la comunidad educativa</p> <p><b>Ticket de salida:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Al finalizar la jornada escolar, cada estudiante y docente deberá entregar un ticket de salida que sea un residuo en óptimas condiciones (papel, cartón, plástico, etc.).</li> <li>• Los contenedores de reciclaje estarán claramente identificados a la salida de la escuela.</li> <li>• La participación en esta actividad será obligatoria y se evaluará periódicamente.</li> </ul> <p><b>Concurso mensual (se recomienda que sea con los grupos de bachillerato por la competitividad y la dinámica propia del concurso)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada grupo de estudiantes competirá por acumular la mayor cantidad de residuos reciclables (traídos de casa o generados en la escuela).</li> <li>• Los residuos serán pesados y clasificados.</li> <li>• El grupo ganador recibirá un premio en efectivo (el monto será definido por la escuela en función de la cantidad y calidad de los residuos aportados). Los incentivos económicos, como los que se implementan en el concurso, son una herramienta clave para impulsar la transición hacia una economía circular. Al recompensar a los estudiantes por sus acciones de reciclaje, estamos promoviendo un cambio de paradigma en el que los residuos se perciben como recursos valiosos, tal como lo demuestran las investigaciones realizadas en países como Finlandia (Abila &amp; Kantola 2019).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambiar la percepción del reciclaje e incorporar estrategias de economía circular en la escuela.</li> </ul>
Monitoreo y evaluación del plan de gestión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Indicadores:</b> Definir indicadores para medir el progreso del plan (porcentaje de residuos reciclados, número de actividades realizadas, participación de la comunidad).</li> <li>• <b>Informes periódicos:</b> Elaborar informes periódicos para evaluar el avance del plan y realizar los ajustes necesarios.</li> <li>• <b>Encuestas de satisfacción:</b> Realizar encuestas a la comunidad educativa para conocer su percepción sobre el programa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de insumos para mejorar las estrategias.</li> <li>• Optimizar la participación de la comunidad educativa en el plan de gestión</li> </ul>
Consideraciones adicionales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Incluir a la comunidad:</b> en el corto plazo se puede involucrar paulatinamente a padres de familia, asociación de padres asociación comunal y empresas locales (tiendas, almacenas) en la implementación del plan.</li> <li>• <b>Articulación con el currículo y el plan de estudio escolar:</b> Integrar la temática de la gestión de residuos y economía circular en las diferentes áreas de currículo institucional.</li> <li>• <b>Adaptación a las condiciones locales:</b> Considerar las características específicas de la escuela y de la comunidad al momento de implementar el plan de gestión de residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trascender los espacios académicos en la implementación del plan de gestión de residuos.</li> <li>• Desarrollar esta temática en todos los niveles educativos.</li> <li>• Asegurar la adecuada implementación al tener en cuenta los contextos propios de los entornos escolares rurales.</li> </ul>