

# Prototipo virtual educativo para la gestión de residuos sólidos en MiPymes: Aplicación en tres sectores piloto de Valledupar (Caribe colombiano)

*Virtual educational prototype for solid waste management in MSMEs: Application in three pilot sectors of Valledupar (Colombian Caribbean)*

Maria Angela Baquero Luquez<sup>a</sup>, Astrid Carolina Cervera Molinares<sup>b\*</sup>,  
Yessica Lorena Perdomo Useche<sup>c</sup>

## RESUMEN

La gestión inadecuada de residuos sólidos continúa siendo uno de los principales desafíos ambientales del siglo XXI, particularmente en los países de ingresos medios y bajos. En este contexto, las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes) representan actores clave tanto en la generación de residuos como en su posible valorización. Este estudio propone el diseño de un prototipo virtual educativo para mejorar la gestión de residuos sólidos en MiPymes de Valledupar (Colombia), aplicando un enfoque sistémico, pedagógico y tecnológico. La metodología combinó técnicas cuantitativas y cualitativas en dos etapas: i) El diagnóstico de residuos en tres sectores piloto (jurídico, construcción y cobranza), y ii) el desarrollo teórico de un prototipo educativo, el cual incluye módulos sobre clasificación de residuos, normatividad ambiental, sensibilización, conexión con gestores certificados y generación de indicadores. Además, incorpora tecnologías como inteligencia artificial, blockchain y geolocalización. El artículo expone cómo los prototipos educativos digitales ofrecen una solución innovadora y escalable para transformar la cultura ambiental en MiPymes, fortaleciendo la economía circular, la responsabilidad social empresarial y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## ABSTRACT

Inadequate solid waste management continues to be one of the main environmental challenges of the 21st century, particularly in low- and middle-income countries. In this context, micro, small, and medium-sized enterprises (MSMEs) are key players in both waste generation and potential recovery. This study proposes the design of a virtual educational prototype to improve solid waste management in MSMEs in Valledupar (Colombia), applying a systemic, pedagogical, and technological approach. The methodology combined quantitative and qualitative techniques in two stages: i) waste assessment in three pilot sectors (legal, construction, and debt collection), and ii) the development of a paper-based educational prototype. The designed prototype includes modules on waste classification, environmental regulations, awareness raising, connection with certified waste managers, and the generation of indicators. It also incorporates technologies such as artificial intelligence, blockchain, and geolocation. The article presents how the digital educational prototypes offer an innovative and scalable solution for transforming environmental culture in MSMEs, strengthening the circular economy, corporate social responsibility, and achieving the Sustainable Development Goals.

**PALABRAS CLAVE:** Residuos sólidos, MiPymes, educación ambiental, prototipo virtual educativo, economía circular, sostenibilidad empresarial.

**KEY WORDS:** Solid waste, MSMEs, environmental education, virtual educational prototype, circular economy, corporate sustainability.

a Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. mbaquero12@estudiantes.areandina.edu.co - <https://orcid.org/0009-0009-3880-0517>

b \*Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. acervera5@estudiantes.areandina.edu.co - <https://orcid.org/0009-0003-3444-3248>

c Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia. yperdomo11@areandina.edu.co - <https://orcid.org/0000-0003-1980-2321>

Recepción: 10 de mayo de 2025. Aceptación: 10 de junio de 2025

## Introducción

La inadecuada gestión de los residuos sólidos se ha consolidado como uno de los retos ambientales más relevantes del siglo XXI. De acuerdo con el Banco Mundial (2018), la generación anual de residuos sólidos urbanos (RSU) supera los 2.010 millones de toneladas a nivel global, y se estima que esta cifra podría alcanzar los 3.400 millones para el año 2050 si no se implementan acciones efectivas de reducción, reutilización y reciclaje. Esta situación no solo afecta el equilibrio ecológico, sino que también genera consecuencias económicas y sociales, particularmente en los países de ingresos medios y bajos, donde el acelerado proceso de urbanización y la insuficiencia de infraestructuras adecuadas para la gestión de residuos intensifican el problema.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, establece en su Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12 la necesidad de garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, incluyendo la gestión *ambientalmente racional* de los residuos durante todo su ciclo de vida (ONU, 2015). En este contexto, se ha evidenciado la importancia de fortalecer las capacidades de los actores productivos, particularmente de las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes), las cuales: representan alrededor del 90 % del total de empresas a nivel mundial, generan entre el 60 % y 70 % del empleo, y son responsables de una porción significativa de los residuos generados (OCDE, 2021).

La región de América Latina y el Caribe enfrenta una situación preocupante en materia de residuos sólidos. Según datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020), en esta zona únicamente se recicla cerca del 10 % del total generado, mientras que la mayor parte se deposita en rellenos o vertederos que carecen de un tratamiento adecuado. Este panorama evidencia la necesidad urgente de transformar los enfoques tradicionales mediante estrategias innovadoras de formación y gestión ambiental en las organizaciones, en las que tanto la tecnología como la educación ambiental se perfilan como herramientas clave para consolidar una cultura empresarial orientada a la sostenibilidad.

Colombia refleja esta realidad frente a los desafíos de la gestión de residuos sólidos. Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2023), en el año 2022 se produjeron más de 12 millones de toneladas de residuos, de las cuales solo el 17 % fue objeto de aprovechamiento. En este contexto, las micro, pequeñas y medianas empresas —que constituyen más del 90 % del entramado empresarial del país— enfrentan serias limitaciones para implementar planes ambientales efectivos, debido a restricciones económicas, escasa formación especializada y falta de acceso a tecnologías apropiadas.

En el marco de la transformación digital y la educación para el desarrollo sostenible, los prototipos virtuales educativos se han consolidado como herramientas efectivas para promover cambios de comportamiento y fortalecer competencias en contextos organizacionales (UNESCO, 2021). Estas plataformas permiten simular escenarios reales, ofrecer contenidos interactivos, y facilitar el aprendizaje autónomo y contextualizado. En el caso de la gestión de residuos sólidos, un prototipo virtual educativo brinda la posibilidad de capacitar a los actores clave de las MiPymes en buenas prácticas ambientales, normativas vigentes, clasificación y disposición adecuada de residuos, sin necesidad de recurrir a metodologías tradicionales que muchas veces resultan costosas, poco flexibles o efectivas.

El diseño e implementación de herramientas tecnológicas de formación resulta particularmente beneficioso para las MiPymes, las cuales suelen enfrentar obstáculos como la limitada disponibilidad de formación especializada, la escasa capacitación técnica y la falta de recursos para establecer sistemas formales de gestión ambiental (PNUD, 2022). En este sentido, un **prototipo educativo digital** —por su flexibilidad, bajo costo y capacidad de adaptación a distintos sectores productivos— se presenta como una alternativa innovadora para promover prácticas empresariales sostenibles. Su estructura pedagógica y tecnológica permite incorporar componentes como la gamificación, la retroalimentación inmediata y la evaluación continua, elementos que estimulan el aprendizaje activo y fortalecen la apropiación de contenidos ambientales por parte de colaboradores y líderes organizacionales. Esto no solo repercute en un mejor desempeño ambiental, sino que también

favorece la consolidación de una cultura empresarial alineada con los principios de sostenibilidad.

Ante este contexto, la presente investigación propone el diseño de un prototipo virtual educativo para la gestión de residuos sólidos en MiPymes, con aplicación en tres sectores piloto de la ciudad de Valledupar. El desarrollo de este prototipo se basa en un enfoque pedagógico y tecnológico, que busca promover el aprendizaje significativo de prácticas sostenibles y fomentar la adopción de conductas responsables en torno al manejo de residuos.

## Fundamentos Teóricos

### Gestión integral de residuos sólidos: Marco conceptual y normativo

La manera de abordar la **gestión de residuos** sólidos ha experimentado una transformación significativa. Ha pasado de centrarse únicamente en su disposición final a *contemplar un enfoque integral que abarca todo su ciclo de vida*: desde su generación inicial hasta su tratamiento, valorización o eliminación. Esta perspectiva está estrechamente vinculada con los principios de sostenibilidad y con el modelo de *economía circular*, el cual propone disminuir el uso excesivo de recursos naturales y mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente (Godoy et al., 2024).

Este enfoque integral se estructura en torno a cinco componentes esenciales: 1) la reducción en la fuente, 2) la separación o clasificación, 3) el almacenamiento, la recolección y transporte adecuado, 4) el tratamiento con posibilidad de aprovechamiento y, finalmente, 5) una disposición segura (González & Ramírez, 2020). Diversas entidades internacionales, como el Banco Mundial, la Unión Europea y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), han respaldado esta visión mediante políticas que fomentan la separación desde el origen, promueven incentivos para el reciclaje e imponen regulaciones estrictas para los residuos peligrosos y especiales.

En el ámbito latinoamericano, si bien las legislaciones varían entre países, existe consenso en torno a la necesidad de establecer planes que incluyan la participación activa de quienes generan los residuos

—ya sean organizaciones, instituciones o la ciudadanía en general—. En el caso colombiano, la normativa vigente, a través de la Ley 1259 de 2008 y el Decreto 1076 de 2015, establece la obligatoriedad de desarrollar Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) por parte de los generadores. No obstante, investigaciones como las de Sánchez, León y Vargas (2022) revelan que muchas MiPymes desconocen dichas disposiciones legales, lo que representa un obstáculo para su correcta implementación y reduce el impacto de la normativa ambiental.

### Las MiPymes frente al desarrollo sostenible y los desafíos ambientales

Las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes) representan más del 90 % del tejido empresarial global y generan más del 60 % del empleo mundial (OCDE, 2021). En Colombia, su participación en la dinámica socioeconómica es similar. Por esta razón, tienen un papel relevante tanto en la economía como en la generación de impactos ambientales. No obstante, muchas de estas empresas no cuentan con capacidades institucionales, financieras o técnicas para implementar sistemas formales de gestión ambiental.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2019) ha señalado que la incorporación de buenas prácticas ambientales en las MiPymes puede generar beneficios económicos directos, como ahorro de recursos, mejora en la reputación corporativa y acceso a nuevos mercados. Sin embargo, la falta de conocimiento y sensibilización sigue siendo una barrera clave para su adopción.

El enfoque de la responsabilidad ambiental empresarial (RAE), planteado por Porter y Kramer (2011), resalta la *necesidad* de que las empresas incorporen el medio ambiente en sus decisiones estratégicas, no solo como una forma de cumplir normativas, sino también de crear valor compartido.

### Tecnologías educativas digitales: Innovación al servicio de la formación ambiental

El desarrollo de prototipos virtuales educativos representa una innovación pedagógica que combina tecnología, simulación y aprendizaje interactivo

para resolver necesidades formativas específicas en entornos laborales y académicos. Estas soluciones están basadas en principios del aprendizaje significativo (Ausubel, 1963) y del constructivismo social (Vygotsky, 1978), donde el conocimiento se construye activamente a través de *la experiencia y el contexto*.

Los prototipos virtuales permiten realizar simulaciones de escenarios reales sin incurrir en riesgos ni costos elevados. Además, pueden incorporar técnicas como gamificación, realidad aumentada, objetos de aprendizaje, y evaluación adaptativa, favoreciendo una experiencia personalizada y motivadora (Sallinas, 2021).

La UNESCO (2020) destaca que las *tecnologías educativas* son fundamentales para la educación para el desarrollo sostenible (EDS), ya que permiten extender el aprendizaje más allá del aula tradicional, fomentar la colaboración y facilitar la apropiación del conocimiento en contextos diversos.

## Educación ambiental organizacional y cultura para la sostenibilidad

La educación ambiental organizacional busca formar actitudes, valores y hábitos permanentes que se reflejen en la operación diaria de las organizaciones. Esta búsqueda constituye a su vez una estrategia que debe estar dirigida a fomentar la apropiación de una cultura de sostenibilidad en todos los niveles (Leff, 2001).

Así, una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad se construye mediante liderazgo ambiental, participación de los trabajadores, alineación con los ODS y fortalecimiento de la política ambiental interna (Cifuentes & Torres, 2019). En ese sentido, la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2020) señala que los procesos de formación ambiental, cuando están alineados con las necesidades operativas de las empresas, generan impactos positivos en indicadores de desempeño ambiental y en el cumplimiento normativo.

## Modelo teórico de integración: Tecnología educativa + sostenibilidad en MiPymes

Esta investigación se apoya en el modelo TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*), propuesto por Koehler y Mishra (2009), el cual integra conocimientos pedagógicos, tecnológicos y del

contenido disciplinar como base para el diseño de ambientes de aprendizaje efectivos. Asimismo, se incorpora el enfoque del *aprendizaje transformador*, de Mezirow (1991), que impulsa a los aprendices a reflexionar críticamente sobre sus supuestos, valores y creencias, promoviendo cambios duraderos en sus prácticas.

Desde esta perspectiva, el diseño del prototipo virtual educativo no solo busca transmitir conocimientos técnicos sobre gestión de residuos, sino también generar conciencia crítica y acción transformadora en las MiPymes frente a su rol en la sostenibilidad.

## Metodología

La estrategia metodológica utilizada en esta investigación combina enfoques cuantitativos y cualitativos dentro de una perspectiva sistémica. Esta combinación permite llevar a cabo un análisis integral de las dinámicas involucradas, así como de las variables operativas, organizacionales y formativas, en torno a la gestión de residuos sólidos en MiPymes. Además, esta integración metodológica sigue el modelo propuesto por Bagur-Pons *et al.* (2021), adaptado a las necesidades del estudio, y toma como base las recomendaciones de Urbina y Zúñiga (2015), quienes plantean la necesidad de interpretar los sistemas organizacionales desde una mirada compleja, dinámica e interrelacionada.

El estudio se desarrolló en dos grandes etapas. La primera, enfocada en el diagnóstico del manejo de residuos sólidos ordinarios; la segunda, del diseño del prototipo virtual educativo, cada una estructurada en fases e instrumentos específicos. De esta manera, se logró articular la generación de datos con el diseño de soluciones tecnológicas contextualizadas:

### Etapas 1: Diagnóstico del manejo de residuos sólidos ordinarios

Esta etapa tuvo como objetivo identificar las prácticas actuales, los volúmenes generados y los tipos de residuos sólidos en tres organizaciones piloto—los sectores jurídico, construcción, y cobranza— en la ciudad de Valledupar. Como fase inicial, se llevó a cabo una jornada de sensibilización ambiental con el personal de planta, acompañada de la instauración de puntos ecológicos en las instalaciones físicas de



las empresas, y capacitaciones virtuales a través de grupos corporativos en redes sociales, fomentando la participación activa de los trabajadores.

Posteriormente, se realizó un análisis de los procesos operativos con el fin de identificar las actividades generadoras de residuos. Para ello, se aplicó la metodología de cuarteo, técnica que permite dividir homogéneamente el volumen de residuos para su caracterización. Esta caracterización permitió clasificar los residuos en categorías como papel, cartón, plástico, orgánicos y no reciclables.

Con base en esta información, se aplicaron las siguientes fórmulas para calcular indicadores clave:

#### Ecuación 1. Promedio por tipo de residuo

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n} \quad \bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}$$

**Nota:**  $\bar{x}_i$ : Promedio de residuos del tipo  $i$  durante el período evaluado.  $x_{ij}$ : Cantidad de residuos del tipo  $i$  generada en el día  $j$ .  $n$ : Número total de días evaluados.

#### Ecuación 2. Porcentaje por tipo de residuo

$$P_i = \left( \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{\sum_{i=1}^k x_i} \right) \times 100 \quad P_i = \left( \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{\sum_{i=1}^k x_i} \right) \times 100$$

**Nota:**  $P_i$ : Porcentaje que representa el tipo de residuo  $i$  con respecto al total.  $x_i$ : Cantidad total del tipo de residuo  $i$  registrada

durante el período de evaluación.  $\sum_{i=1}^k x_i$ : Suma total de residuos generados considerando los  $k$  tipos evaluados.  $k$ : Número total de tipos de residuos identificados.

#### Ecuación 3. Producción semanal de residuos

$$R_s = \bar{x}_i \times DR_s = \bar{x}_i \times D$$

**Nota:**  $R_s$ : Producción semanal estimada de residuos del tipo  $i$ .  $\bar{x}_i$ : Promedio diario de residuos del tipo  $i$ , según la Ecuación 1.  $D$ : Número de días laborables por semana utilizados en el estudio. En este caso, se consideraron 5 días laborables por semana durante el desarrollo experimental.

Los resultados de esta etapa constituyeron la base para el diseño temático y estructural del prototipo virtual educativo, adaptado a las necesidades detectadas en cada sector productivo.

### Etapa 2: Diseño del prototipo virtual educativo

Para el desarrollo del prototipo virtual educativo se siguió la metodología propuesta por Mendivel (2015) –centrada en un enfoque iterativo y participativo–, aplicado bajo una modalidad de ensayo en papel con los empleados de las empresas piloto. Este modelo contempla las siguientes fases (ver Tabla 1):

La temática seleccionada se definió a partir de las percepciones de los participantes y de las

Tabla 1. Secuencia de pasos y fases

Paso	Descripción	Ejemplos/Detalles
1. Descripción del escenario	Identificación del entorno organizacional, recursos tecnológicos y usuarios.	- Entorno: MIPYMES de comercio (panaderías, mercados). - Recursos: 60 % tienen acceso a smartphones básicos. - Usuarios: Dueños (40-60 años), empleados (18-35 años).
2. Modo de acceso	Evaluación de medios para implementación.	- Dispositivos: Celulares Android (70 %), computadores (25 %). - Redes: Datos móviles (3G/4G) en un 80 %.
3. Descripción de tareas	Mapeo de actividades clave sobre gestión de residuos.	- Contenidos: Videos interactivos (ej.: "Cómo separar orgánicos"). - Actividades: Juego de arrastrar residuos a contenedores animados.
4. Diseño conceptual	Flujo de navegación y estructura de contenidos.	- Flujo: Guiado por preguntas (ej.: "¿Qué haces con las botellas?"). - Multimedia: Personajes <i>Ghibli</i> como guías. - Evaluación: Quizzes con recompensas visuales (hojas que crecen).
5. Bocetos de la app móvil	Desarrollo gráfico de interfaz y botones.	- Interfaz: Menú con íconos estilo <i>Ghibli</i> (hojas, nubes). - Botones: "Aprende" (libro), "Juega" (dado), "Métricas" (gráfico). - Detalle: Barra inferior con progreso animado.

Fuente: Elaboración propia

necesidades identificadas en el diagnóstico previo. Se diseñaron módulos de contenido sobre clasificación de residuos, normatividad colombiana, campañas de sensibilización y estrategias de autogestión. Esta estructura busca promover la apropiación de comportamientos sostenibles dentro de la comunidad laboral, facilitando la incorporación de la educación ambiental en las dinámicas organizacionales.

Además, el prototipo contempla el uso de recursos tecnológicos que fortalecen la sensibilización colectiva, fomentan la participación y potencian el desarrollo de competencias digitales con impacto ambiental positivo (Redondo, 2019).

## Consideraciones éticas

Durante el desarrollo de la investigación, se garantizaron los principios éticos de respeto, confidencialidad, participación voluntaria y consentimiento informado. La recolección de información se realizó con autorización previa de las empresas participantes, y todos los trabajadores fueron informados sobre los fines académicos del estudio.

## Resultados y Discusión

El presente estudio permitió diagnosticar las prácticas de gestión de residuos sólidos en tres sectores piloto —jurídico, construcción y cobranza— del municipio de Valledupar. Inicialmente, se evidenció la ausencia de estrategias estructuradas de manejo de residuos, situación que fue parcialmente abordada mediante actividades de sensibilización ambiental, capacitaciones virtuales y la instalación de puntos ecológicos. La implementación de contenidos interactivos propició un cambio conductual favorable, reflejado en una mejora sustancial de la separación en la fuente, consolidando así una mayor

apropiación por parte de los colaboradores frente a sus responsabilidades ambientales.

Durante la caracterización de residuos sólidos, utilizando la metodología de cuarteo y medición por balanza digital, se identificó una mayor proporción de residuos no aprovechables, superando los 0.8 kg/semana en los tres sectores, especialmente en el sector jurídico (0.9 kg/semana). Esta cifra casi duplicó el volumen de residuos aprovechables, lo cual se relaciona con hábitos como el consumo compartido de meriendas en los lugares de trabajo, generando empaques contaminados con restos alimenticios, ver Tabla 2.

Por otro lado, se evidenció que los residuos aprovechables —incluyendo papel, cartón, plástico, vidrio y residuos orgánicos— representaron más del 30% del total de residuos generados semanalmente en cada una de las empresas evaluadas. Esta proporción destaca la efectividad de las acciones educativas emprendidas, considerando que en el diagnóstico inicial no existía separación alguna y se utilizaba una única caneca para todos los desechos. Este hallazgo sugiere un potencial significativo para estrategias de valorización de residuos, en particular para el compostaje, dado el volumen considerable de materia orgánica y la disponibilidad de zonas verdes en las instalaciones empresariales.

En términos específicos, los residuos orgánicos oscilaron entre 0.48 y 0.52 kg/semana, mientras que los residuos de papel alcanzaron una media cercana a los 0.12 kg/semana, homogéneamente distribuidos en los tres sectores debido a la carga administrativa común. El vidrio, en tanto, provino principalmente de envases de café, y su generación fue consistente en todas las empresas.

Estos resultados permitieron servir como insumo para el diseño de un prototipo virtual educativo que

Tabla 2. Producción de Residuos por Sector (kg/semana)

Sector	Residuos No Aprovechables (kg/semana)	Papel (kg/semana)	Vidrio (kg/semana)	Residuos Orgánicos (kg/semana)	Plástico (kg/semana)	Cartón (kg/semana)	Total aprovechables (%)
Jurídico	0.9	0.12	0.2	0.5	0.35	0.25	32
Construcción	0.85	0.11	0.18	0.48	0.33	0.24	34
Cobranza	0.88	0.13	0.19	0.52	0.36	0.26	35

Fuente: Elaboración propia

permite digitalizar el proceso de gestión ambiental. El prototipo, desarrollado inicialmente en papel, incorpora módulos de diagnóstico, sensibilización, conexión con gestores certificados, generación de ingresos y seguimiento mediante indicadores clave. Su diseño responsivo, accesible desde diversos dispositivos, así como su integración con tecnologías como inteligencia artificial, blockchain y geolocalización, lo convierten en una herramienta versátil y adaptable a las necesidades del entorno productivo.

Una de las funcionalidades más destacadas del prototipo es su capacidad para facilitar la trazabilidad y optimizar la recolección de residuos especiales y peligrosos, conectando a las empresas generadoras con gestores certificados de manera eficiente y normativa. Además, el sistema incluye incentivos como certificaciones, visualización de indicadores ambientales y gamificación, lo que refuerza el compromiso de los usuarios con la sostenibilidad.

En el análisis comparativo entre sectores, el sector jurídico presentó los niveles más altos de residuos no aprovechables, mientras que el sector de cobranza mostró una mejor separación y mayor proporción de residuos reutilizables. La validación preliminar del prototipo con empleados de las empresas piloto permitió detectar mejoras en la conciencia ambiental, aunque se evidenció la necesidad de reforzar la capacitación sobre los códigos de colores y las características específicas de cada tipo de residuo, en concordancia con la Resolución 2184 de 2019 del Ministerio de Ambiente de Colombia.

## **Conclusiones**

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que la integración de herramientas tecnológicas con estrategias de formación organizacional representa una vía efectiva para optimizar la gestión de residuos sólidos en las MiPymes. El desarrollo de un prototipo virtual educativo con enfoque modular demostró ser una solución innovadora y funcional, capaz de mejorar procesos críticos como la clasificación, recolección y trazabilidad de residuos, especialmente los de tipo peligroso, cuya gestión inadecuada constituye una limitación recurrente en estos sectores. La fase de implementación en entornos controlados validó la viabilidad del sistema,

evidenciando mejoras en la eficiencia operativa, la automatización de procesos administrativos y la articulación con gestores certificados.

Además, la caracterización de residuos en sectores piloto de Valledupar reveló la importancia estratégica de la educación ambiental como catalizador para la adopción de prácticas sostenibles en escenarios productivos con alto dinamismo económico. La plataforma digital desarrollada no solo promovió la cultura de la responsabilidad social empresarial, sino que también fortaleció la conexión de las MiPymes con modelos de economía circular y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente aquellos relacionados con consumo responsable, acción por el clima e innovación. La identificación de oportunidades de aprovechamiento comercial de residuos reciclables y la inclusión de actores del reciclaje dentro de la red de gestión contribuyen, adicionalmente, al desarrollo local y a la dignificación de cadenas productivas ambientales en el Caribe colombiano. En conjunto, estos hallazgos reafirman el potencial transformador de la tecnología educativa aplicada a la gestión ambiental en pequeñas y medianas empresas.

## **Agradecimientos:**

Esta investigación fue financiada con recursos propios de los autores. Se agradece el apoyo logístico y técnico brindado por la Cámara de Comercio de Valledupar y por las MiPymes participantes de los sectores gastronómico, textil y comercial.

## **Contribuciones de autoría:**

María Angela Baquero Luquez fue responsable del diseño metodológico, la supervisión general del proyecto y la redacción del borrador inicial del artículo. Astrid Carolina Cervera Molinares lideró la implementación del prototipo virtual, la sistematización de los datos y el análisis de los resultados obtenidos durante la fase piloto. Yessica Lorena Perdomo Useche participó en la revisión crítica del manuscrito, la validación de fuentes bibliográficas y la adecuación del enfoque pedagógico de la plataforma digital. Todas las autoras aprobaron la versión final del manuscrito.

## Conflictos de interés:

Las autoras declaran que no existen conflictos de interés personales, académicos, laborales, financieros o de otra índole que pudieran haber influido en los resultados o en la interpretación de los hallazgos presentados en este artículo.

## Bibliografía

- Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. Grune & Stratton.
- Bagur-Pons, M., Pons-Peregrort, O., & Morey-López, M. (2021). Investigación educativa desde una perspectiva sistémica e integradora. *Revista de Investigación Educativa*, 39(1), 203-218. <https://doi.org/10.6018/rie.420441>
- Banco Mundial. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- CEPAL. (2020). *Gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org>
- Cifuentes, M., & Torres, D. (2019). Cultura organizacional para la sostenibilidad ambiental en pymes colombianas. *Revista de Gestión Ambiental*, 21(1), 45-62.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2023). *Informe nacional sobre residuos sólidos 2022*. Gobierno de Colombia.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy*. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- Godoy, A. S. R., Peisino, L. E., Raggiotti, B. B., & Rolón, G. C. (2024). Dispositivo térmico para la ceramización in situ de revoques de tierra. *Jornadas de Estudiantes*.
- González, J., & Ramírez, H. (2020). Gestión integral de residuos sólidos urbanos: Enfoque técnico y normativo. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 38(2), 77-90.
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70.
- Leff, E. (2001). *Saber ambiental. Racionalidad, sustentabilidad, complejidad y educación ambiental*. Siglo XXI Editores.
- Mendivel, D. (2015). Diseño de aplicaciones móviles educativas: metodología participativa con enfoque de usuario. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 14(1), 67-83.
- Mezirow, J. (1991). *Transformative dimensions of adult learning*. Jossey-Bass.
- OCDE. (2021). *SME and Entrepreneurship Outlook 2021*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/97a5bbfe-en>
- OIT. (2020). *La formación para el trabajo en la transición hacia una economía verde: una perspectiva global*. Organización Internacional del Trabajo. <https://www.ilo.org>
- ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- PNUD. (2022). *Innovación educativa y desarrollo sostenible en mipymes de América Latina*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://www.undp.org>
- PNUMA. (2019). *Small Businesses, Big Opportunities: How Micro-, Small and Medium-sized Enterprises Can Drive Sustainable Consumption and Production*. <https://www.unep.org>
- PNUMA. (2021). *\*Perspectivas del medio ambiente mundial: GEO-6 para América Latina y el Caribe\**. <https://www.unep.org>
- Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review*, 89(1/2), 62-77.
- Redondo, R. (2019). Tecnologías digitales y educación ambiental: una convergencia necesaria. *Revista Iberoamericana de Educación Ambiental*, 30(1), 45-60.
- Salinas, J. (2021). Aprendizaje digital en entornos laborales: más allá del e-learning. *Educación XXI*, 24(1), 55-73.
- Sánchez, L., León, D., & Vargas, R. (2022). Nivel de conocimiento normativo ambiental en mipymes colombianas. *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*, 14(2), 91-105.
- UNESCO. (2020). *Education for Sustainable Development: A Roadmap*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- UNESCO. (2021). *Education for sustainable development: A roadmap*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- Urbina, D., & Zúñiga, L. (2015). La investigación con enfoque sistémico: una visión integradora para el análisis organizacional. *Revista de Ciencias Sociales*, 21(3), 88-102.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.