

Eje **III**

Experiencias de sostenibilidad en el contexto territorial

Capítulo **III.1**

Logros de Sostenibilidad: Modelo circular en la gestión de residuos sólidos municipales

*Edinson Fabian Monroy Ávila¹
David Ricardo Díaz Guevara²*

<https://doi.org/10.61728/AE20251895>



¹ Investigador Facultad de Ingeniería Ambiental, Instituto del Agua y del Ambiente, CONRHI, Universidad Santo Tomás-Tunja. E-mail: edison.monroy@usantoto.edu.co, ingenierofabianm@gmail.com

² Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás-Tunja, Investigador Instituto del Agua y del Ambiente, CONRHI. E-mail: davidr.diazg@usantoto.edu.co

1. Introducción

Según Freiles Ariza (1970), desde que en el planeta habitan seres vivos, hace aproximadamente 4000 millones de años, existen residuos sólidos provenientes del uso de recursos naturales usados por el ser humano para satisfacer sus necesidades (Tchobanoglous, 2011, como se citó en Rodríguez, 2023), resaltan que estos desechos o residuos son originarios de hogares, negocios, industrias e instituciones, y que a su vez terminan en espacios públicos (Monreal y Depto, 1999). Como mencionan Vargas y Oliva (2017), la generación de residuos sólidos ha tenido y en la actualidad tiene repercusiones en el ambiente y en la salud de las personas.

El reto que hoy deben enfrentar las áreas urbanas es la elevada generación de residuos sólidos, siendo estos considerados un problema ambiental de alto impacto a nivel mundial (Rodríguez, 2023). Es por ello que, en este contexto del desarrollo social, económico y ambiental, la gestión integral de residuos sólidos (GIRS) recobra importancia en los gobiernos a fin de evitar consecuencias en salud pública (Márquez 2020). Estos desafíos se deben a la falta de un modelo integral de economía circular que busque la articulación de los distintos instrumentos de planeación ambiental y territorial acorde a las capacidades de cada municipio.

Según Otárola Espinoza (2023), en la actualidad, numerosos países emiten normativas generales de aplicación en todo el territorio nacional, las cuales tienen validez y generan efectos sobre toda la población, sin establecer distinciones de carácter personal o territorial, es por ello que esta falta en la diferenciación de las capacidades administrativas, técnicas y financieras hoy se evidencian en la inadecuada GIRS a nivel municipal, con ello la ausencia de un enfoque integral que promueva el aprovechamiento, tratamiento y valorización de los residuos no solo incrementa los volúmenes enviados a disposición final en rellenos sanitarios, sino que también genera impactos ambientales significativos, como la contaminación de suelos y cuerpos de agua derivados de los lixiviados, la generación de gases como el metano

siendo este un gas de efecto invernadero, y los aspectos ambientales de salud pública en las comunidades aledañas a estos lugares.

Según la Superintendencia de Servicios Públicos (2022), en Colombia para el año 2022, se dispusieron un total de 11 983 709.70 toneladas de residuos, de las cuales el 98.11 % fue gestionado a través de sistemas autorizados, mientras que el 1.89 % restante se dispuso en sistemas no autorizados. Entre los sistemas de disposición, los rellenos sanitarios representaron el 96.7 % del total de residuos gestionados, mientras que otros sistemas, como las celdas de contingencia y los botaderos a cielo abierto, gestionaron el 1.4 % y el 1.8 %. El 91.98 % de los municipios disponen de rellenos sanitarios, lo que equivale a 1250 municipios, mientras que el 5.89 % utilizó botaderos a cielo abierto, resaltando además que, de las 11 983 709.70 toneladas dispuestas al año, 5 099 702 toneladas provienen de las ciudades principales, es decir, el 57.44 % restante proviene de municipios y ciudades intermedias, lo que demuestra que hoy el país no ha implementado modelos de economía circular en la GIRS municipal.

Actualmente en Colombia menos del 20 % de los municipios aprovechan los residuos sólidos de manera efectiva. En el año 2022 se lograron aprovechar 2 439 620 toneladas de residuos, destacándose entre los materiales más reciclados el cartón (15 %), el plástico PET (12 %), el papel de archivo (9 %), el vidrio (7 %) y las cajas plegadizas de cartón (6 %). A pesar de estos avances, la baja tasa de aprovechamiento refleja la necesidad urgente de impulsar la industria de transformación de materiales reciclables, mediante la creación de proyectos y empresas que permitan reutilizar estos materiales de manera sostenible en el marco de la economía circular. El limitado aprovechamiento de los residuos sólidos en el país subraya la falta de infraestructura y apoyo para fomentar una economía circular. Promover la transformación de materiales reciclables requiere incentivos para el desarrollo de iniciativas empresariales que den valor agregado a los residuos recuperados, permitiendo así una mayor inclusión de los municipios en programas de reciclaje y reduciendo el volumen de residuos destinados a rellenos sanitarios. Este enfoque no solo contribuiría a la sostenibilidad ambiental, sino que también podría generar nuevas oportunidades económicas para las comunidades locales enmarcadas en los logros de sostenibilidad con la innovación circular en la gestión de residuos municipales.

La gestión integral de sólidos contempla cada una de las actividades desde la prevención en la generación en la fuente, toda la parte de presentación y separación de los residuos sólidos, seguido del sistema de recolección, aprovechamiento, valorización, tratamiento, disposición final, áreas públicas, residuos especiales y lo relacionado con los aspectos de prestación del servicio, incluyendo los aspectos de reciclaje urbano (Lopez-Yamunaqué y Iannacone, 2021). De este modo, hoy en Colombia la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, el Plan Nacional de Desarrollo y los ODS buscan armonizar la GIRS con los aspectos de economía circular, de la cual, como lo mencionó Ellen MacArthur Foundation (2015, citado por Villavicencio, 2022), uno de los principios de la economía circular es optimizar el rendimiento de los capitales naturales mediante la circulación y el uso colectivo de productos con la finalidad de ampliar su vigencia.

El CONPES 3874 se constituye como el primer instrumento en Colombia que aborda las políticas públicas relacionadas con la gestión y la economía circular, estableciéndose como un pilar clave para la gestión integral de residuos sólidos (Blandón Correa, 2020). Esto permite evitar que la mayor parte de los residuos generados sean dispuestos en rellenos sanitarios, promoviendo en su lugar su reintegración en los ciclos productivos. Para Correa Escalante et al. (2023), este enfoque se logra a través de programas de aprovechamiento y tratamiento de residuos y la infraestructura de las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento - ECA, que fomentan la separación en la fuente desde el consumo responsable, el reciclaje y la valorización de los materiales. Sin embargo, para que estos programas sean efectivos, es crucial implementar acciones de educación y sensibilización ciudadana, que concienticen a la población sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar los residuos, impulsando prácticas sostenibles que disminuyan la carga sobre los rellenos sanitarios y los impactos ambientales asociados.

Actualmente, el modelo de GIRS en estos municipios suele enfocarse únicamente en un modelo lineal donde solo existen actividades de recolección y disposición final, sin contemplar la valorización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos. Este modelo de manejo de residuos resulta insostenible a largo plazo, especialmente en municipios distantes de los rellenos donde los costos operativos son mayores al recaudo. Es

por ello que la implementación de un modelo basado en economía circular permitiría no solo reducir las tasas de disposición en rellenos sanitarios, sino también generar oportunidades económicas mediante la creación de nuevos mercados basados en la economía de la producción y el consumo responsable.

1.1. Objetivo

El objetivo principal del presente estudio fue diseñar e implementar un modelo de gestión integral de residuos sólidos (GIRS) basado en los principios de economía circular en el municipio de Coper, Boyacá. Este modelo buscó reducir la generación de residuos, promover la reutilización y el reciclaje de materiales, y minimizar el impacto ambiental derivado de la disposición final en rellenos sanitarios. A partir de un diagnóstico detallado de la situación actual de la gestión de residuos, luego con el diseño de un modelo basado en principios de economía circular, se buscó establecer la viabilidad de este en el Municipio.

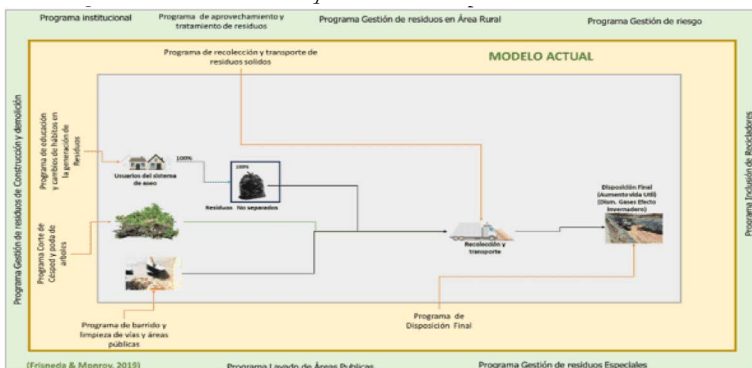
2. Desarrollo

2.1. Diagnóstico de la situación actual

En la actualidad, los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) municipales se encuentran reglamentados por la Resolución Nacional 754 de 2014. Esta resolución establece los lineamientos para la implementación de actividades, programas y proyectos que buscan alinearse con los objetivos y directrices de la Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Sin embargo, muchos municipios, a pesar de tener sus PGIRS actualizados y vigentes, continúan operando bajo un modelo lineal de manejo de residuos. Este enfoque, que solo contempla la producción y otros componentes, no incluye aspectos clave como el aprovechamiento, el tratamiento adecuado y la integración de la economía circular, especialmente en municipios pequeños. En la siguiente figura se presenta dicho modelo construido por Monroy y Frisneda (2019) (Figura 1).

Figura 1

Modelo lineal de la Gestión Municipal de residuos sólidos.



Fuente: Monroy y Frisneda, 2019.

2.2. Modelo lineal de gestión de residuos solidos

La disposición inadecuada de los residuos sólidos desde los hogares es una problemática común que resulta en la mezcla de desechos domésticos sin clasificar con residuos de programas de corte de césped y poda de árboles, y con otros elementos recogidos en los programas de barrido de calles y limpieza de vías y áreas públicas. Esta práctica conduce a que todos los residuos se acumulen en bolsas negras, sin separación alguna y, finalmente, sean recolectados y transportados al relleno sanitario.

En el municipio de Coper, según las proyecciones del PGIRS, se producen cerca de 15.4 toneladas al mes. Para ello, se llevaron a cabo monitoreos de caracterización de residuos sólidos en 274 usuarios distribuidos en diferentes sectores. En total, se realizaron 16 monitoreos, con el fin de analizar la composición física de los residuos generados, abarcando tanto meses regulares como una temporada especial de ferias y fiestas. Este enfoque permitió observar variaciones en la generación y tipo de residuos. Los resultados de estos monitoreos proporcionaron información clave para diseñar estrategias de manejo diferenciadas y más efectivas, adaptadas a la realidad del Municipio.

Como resultado de dichas caracterizaciones, se encontró que el sector institucional genera una proporción equilibrada entre residuos orgánicos y reciclables; el sector doméstico produce un 72 % de residuos orgánicos

y un 28 % de reciclables; el sector comercial presenta una alta generación de residuos orgánicos con un 81 %, debido a la presencia de restaurantes y supermercados, y un 19 % de reciclables; mientras que el sector mixto produce un 65 % de residuos orgánicos, similar al sector comercial, pero con una mezcla de otros usos. Estos resultados destacan la variabilidad en la composición de residuos por sector y subrayan la necesidad de adaptar las estrategias de gestión de residuos a las características específicas de cada sector para mejorar la eficacia del aprovechamiento y tratamiento de los residuos en el municipio (Figura 2).

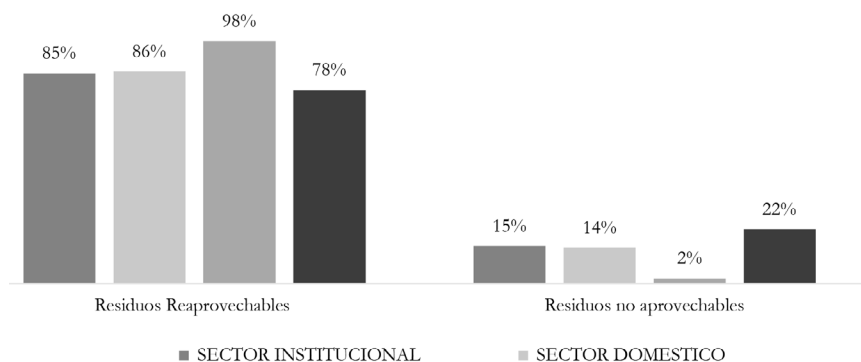
Figura 2

Porcentaje de residuos sólidos orgánicos y aprovechables por sector.

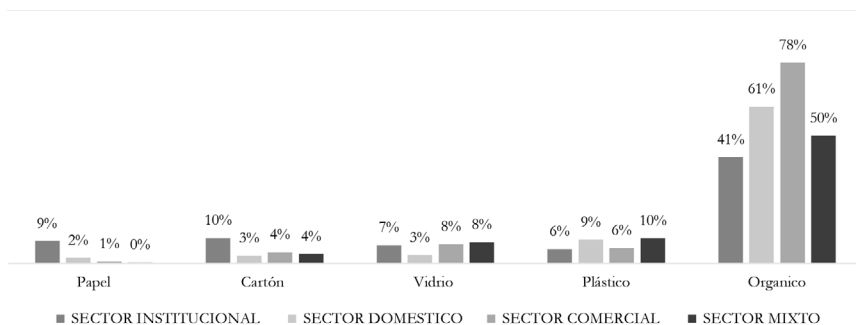


Fuente: Alcaldía Municipal de Coper, 2019.

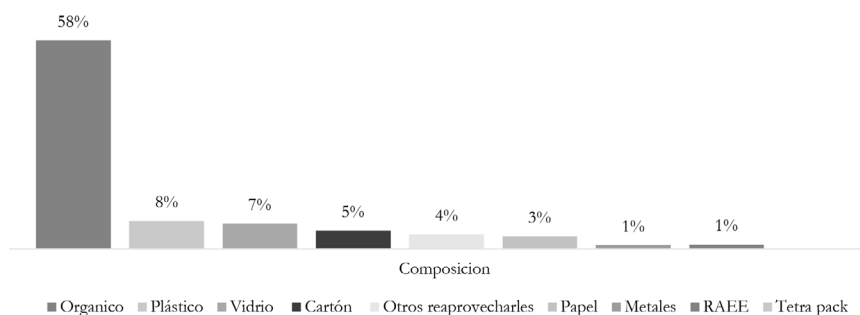
En la Figura 3, se presentan los resultados por cada uno de los sectores monitoreados, encontrándose que el sector Comercial muestra la mayor fracción de residuos con potencial aprovechable fue en el sector comercial con una proporción de 98 %, el Sector Institucional (85 % de potencial de aprovechamiento) y el Sector Doméstico (86 %), mientras que el sector mixto alcanza el 78 % y esto se debe a la heterogénea composición y contaminación de materiales potencialmente aprovechables que fueron mezclados con otros.

Figura 3*Porcentaje de residuos aprovechables y no aprovechables por sector.**Fuente:* Alcaldía Municipal de Coper, 2019.

Luego de determinar la composición aprovechable se adelantó la caracterización por cada sector de donde se encontró que el sector que más produce fracción orgánica es el sector comercial con el 78 % seguido del sector doméstico con el 61 % para luego estar el sector mixto con el 50 % y el institucional con el 41 %, las siguientes fracciones corresponden al plástico siendo el sector mixto el mayor generador con el 10 % de su fracción total, en el caso del vidrio en promedio los sectores mixto, institucional y comercial son los mayores productores con el 8 % en comparación con el doméstico, para el caso del cartón el sector institucional es el mayor productor con el 10 % al igual que la producción del papel con el 9 % (Figura 4).

Figura 4*Caracterización por tipo de residuos aprovechables en los cuatro sectores.**Fuente:* Autores.

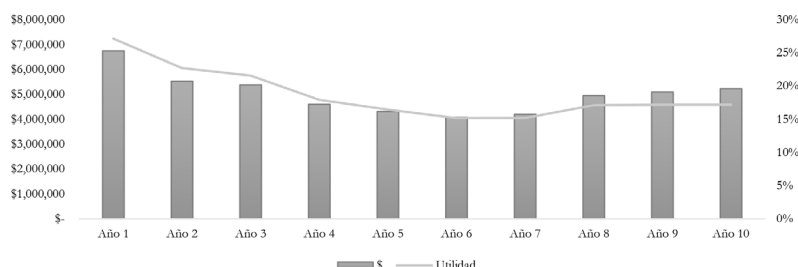
Posterior a ello, se realizó la caracterización para cada uno de los tipos y composiciones de las fracciones físicas, donde se encontró que los residuos orgánicos constituyen la mayor proporción con un 58 % en promedio de todos los sectores, lo que indica una significativa cantidad de desechos biodegradables. Los plásticos siguen como la segunda categoría más prominente con un 8 %, seguidos por el vidrio con un 7 %. El cartón 5 % y papel 3 %. Los metales tienen una menor. Este perfil de residuos destaca la necesidad de gestionar eficientemente los residuos orgánicos y plásticos, así como de mejorar el reciclaje de materiales menos voluminosos, pero igualmente importantes. Es así como se concluye que el 13 % de los residuos son no aprovechables, el 58 % son residuos orgánicos y el 29 % corresponde a la fracción aprovechable (Figura 5).

Figura 5*Caracterización por tipo de residuo para la fracción aprovechable.**Fuente:* Autores.

Posterior a ello, se realizó el estudio de mercado con los escenarios de flujos de fondos para el modelo de aprovechamiento con los análisis de oferta y demanda de la comercialización de residuos sólidos aprovechables, considerando y balanceando los egresos. Están incluidos los costos de recolección y personal que se requiere para la separación en el lugar donde se almacene. Los costos de tarifa de aprovechamiento significan los ahorros que tendrá el municipio por no seguir disponiendo los residuos sólidos en el relleno sanitario. Como se puede ver en la gráfica, la utilidad promedio al cabo de los 10 años evaluados es del 19 %, con ingresos esperados de hasta \$ 50.132.564. Los ingresos aquí establecidos se basan en la proyección de residuos del municipio, los aumentos en los precios establecidos según la demanda de las empresas que adquieren dichos residuos (Figura 6).

Figura 6

Costos de inversión y operación para la actividad de aprovechamiento vs. utilidad.



Fuente: Alcaldía Municipal de Coper (PGIRS, 2019)

De este modo, se consideró que la actividad de comercialización de residuos sólidos aprovechables en el municipio es viable de una manera condicionada, y esto se debe a las industrias que requieren un mínimo de toneladas, las cuales el municipio no está en capacidad de producir en un mes. Se recomienda que, para aumentar la viabilidad técnica, se compacten los residuos y se almacenen en las casetas que existen o se construyan mientras se reúne aproximadamente 5 toneladas de todos los residuos para poder transportarlos hasta la ciudad de Bogotá y así no afectar la viabilidad económica de la comercialización una vez se surtan los respectivos ajustes tarifarios.

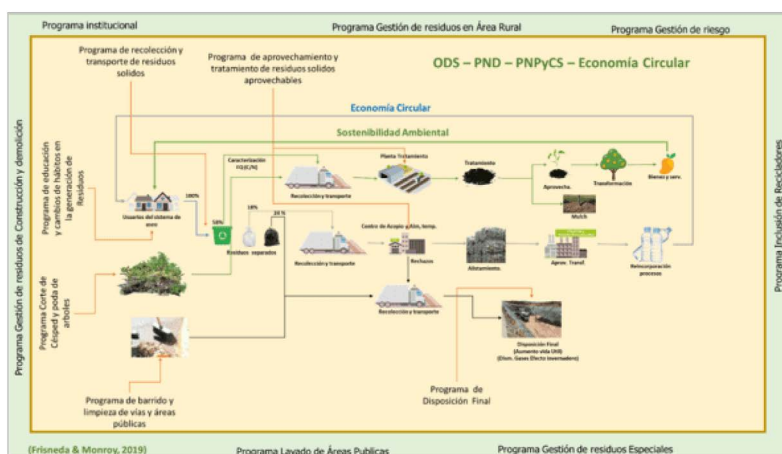
El Municipio de Coper desde el año 2018 ha enfocado sus esfuerzos en la reducción, separación en la fuente, aprovechamiento y comercialización de residuos sólidos, conforme a la Resolución 754 de 2014. Este enfoque ha resultado en una reducción del 70 % en la disposición de residuos sólidos en el relleno sanitario, un logro significativo. Se ha avanzado en la consolidación y aplicación de un modelo integral de gestión de residuos, extendiéndolo incluso a áreas rurales, alcanzando cada hogar del municipio. Este éxito demuestra la viabilidad y efectividad de un modelo sostenible, destacando el compromiso de Coper con la gestión responsable de sus recursos y el cuidado del medioambiente, conforme a los lineamientos establecidos para los planes institucionales, demostrando en gran medida la complementariedad de éxito con el modelo planteado en la resolución mencionada.

Como se presentó anteriormente, el 58% del total de los residuos clasificados corresponde a base orgánico, con base en esto se sugiere adelantar actividades de compostaje.

Estos desechos orgánicos se caracterizan por bolsa verde y son recolectados y transportados a plantas de tratamiento. Allí, reciben un proceso que los convierte en mulch o en abono orgánico, materiales beneficiosos para los sectores agrícolas. Este proceso no solo genera bienes y servicios que retornan a las personas que son usuarias del sistema de aseo, sino que también contribuye a la reducción de residuos dispuestos en el parque tecnológico ambiental. El modelo propuesto en la Figura 7 busca la implementación de un sistema basado en economía circular, donde cada elemento es reciclado y reutilizado, cerrando el ciclo de uso y creando un sistema sostenible y eficiente.

Figura 7

Modelo Municipal de gestión de residuos sólidos propuesto para el logro de economía circular con principios de Sostenibilidad.



Fuente: Fresneda y Monroy, 2019.

De los 12 programas establecidos en la Resolución 754 de 2014, según Fresneda y Monroy (2019), se planteó un modelo de economía circular que busca alcanzar los principios de sostenibilidad ambiental, basado en un nuevo enfoque para la gestión integral de residuos sólidos a nivel municipal. Este modelo busca articular y armonizar cada uno de los programas con los componentes que, aunque ya existen en los municipios, se trabajan de manera desarticulada.

En el caso del programa de barrido y limpieza de vías y áreas públicas, este corresponde a un proceso en el que los residuos deben ser recolecta-

dos y tratados de acuerdo con su peligrosidad, como residuos no aprovechables. Por otro lado, los residuos generados en el programa de corte de césped y poda de árboles, que son mayoritariamente residuos orgánicos, se incluirán en un proceso de aprovechamiento, permitiendo su transformación en abonos orgánicos. En cuanto a los residuos domésticos, deberán ser separados según el código de colores establecido a nivel nacional para identificar los residuos aprovechables, los residuos orgánicos y los residuos no aprovechables. Con estas tres corrientes y programas, se establecen dos líneas principales en el modelo. La primera es la línea de residuos no aprovechables, que serán enviados a los rellenos sanitarios bajo el programa de disposición final, lo que corresponde a un 24 %. La segunda corresponde a los residuos orgánicos, los cuales serán tratados en plantas de compostaje u otras infraestructuras dedicadas, generando subproductos a partir de aproximadamente el 58 % de los residuos orgánicos. En el caso de los residuos secos aprovechables, después de su recolección, se recomienda llevarlos a un centro de acopio o a instalaciones temporales donde puedan almacenarse antes de iniciar su cadena de valorización y comercialización, facilitando su reincorporación en nuevos procesos y productos.

De esta forma, se espera reducir en un 76 % la cantidad de residuos enviados a los rellenos sanitarios, mientras que el tratamiento de residuos orgánicos incrementaría en un 58 %, y el manejo de los residuos aprovechables superaría el 18 %. Así, los programas de recolección, los programas de prestación de servicios y los programas institucionales establecidos en la Resolución 754 garantizarán la plena articulación del modelo, permitiendo la implementación de principios de economía circular enfocados en la sostenibilidad ambiental. Como resultado, se logrará una reducción significativa en las tasas de residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios, lo que abrirá la puerta a nuevas alternativas de tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos, más allá del reciclaje tradicional.

3. Conclusión

La reducción del 76 % en la disposición de residuos sólidos en el relleno sanitario no solo aumenta la vida útil de este, sino que también contribuye significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto inver-

nadero. Este logro, alcanzado a través de un enfoque integral que incluye la separación en la fuente y el aumento en las tasas de aprovechamiento de residuos. El éxito de la implementación de este modelo destaca el papel crucial del involucramiento de las comunidades rurales en la gestión de residuos, resaltando la importancia de la participación ciudadana en la implementación de soluciones ambientales. Este enfoque inclusivo no solo fortalece el tejido social, sino que también promueve la adopción generalizada de prácticas sostenibles, generando un impacto positivo a largo plazo en el medio ambiente y la calidad de vida de todos los ciudadanos.

El país hoy está demandando nuevas tecnologías y alternativas de tratamiento de residuos sólidos como fuentes de energía, además de buscar reducir los impactos ambientales que se generan por el inadecuado manejo de residuos en los municipios de Colombia. Es por ello que el modelo planteado en esta investigación busca que realmente los municipios más pequeños en Colombia, a pesar de no tener una viabilidad ni disponibilidad financiera, puedan lograr con pequeñas acciones grandes cambios que hoy el país y la gestión de residuos requieren.

4. Referencias

- Alcaldía Municipal de Coper (2019). *Plan de gestión Integral de residuos sólidos – PGIRS*. https://coperboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/coperboyaca/content/files/000340/16978_pgirs-coper--boyaca.pdf
- Blandón Correa, S. (2020). *Gestión integral de residuos sólidos y economía circular en el área metropolitana del Valle de Aburrá*. Escuela de Derecho y Ciencias Políticas. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/8160/Gesti%20integral%20de%20residuos%20s%20lidos%20y%20econom%20ada%20circular.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Correa Escalante, D. L., López Rodríguez, E. de J., & Macías Ruiz, L. M. (2023). *Estudio de prefactibilidad Instalación de una estación de clasificación y aprovechamiento (ECA) de residuos sólidos en el corregimiento de San Félix en el año 2023*. Corporación Universitaria Minuto de Dios. <https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/b7fe340e-421a-4930-bb0d-1f96c766f174/content>.

- Freiles Ariza, N. S. (1970). Manejo y separación de residuos sólidos urbanos. Análisis comparativo entre Madrid (España) y el distrito especial industrial y portuario de Barranquillas (Colombia). *Observatorio Medioambiental*, 19, 197-211. <https://doi.org/10.5209/obmd.54168>
- José, N., & Márquez Cundú, J. S. (2020). Los residuos sólidos urbanos municipales en Luanda, caracterización y consecuencias ambientales de su inadecuada gestión. *Centro Azúcar*, 47(1), 33-42. https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000100033
- Lopez-Yamunaqué, A., & Iannacone, J. A. (2021). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en América Latina. *Paideia XXI*, 11(2), 453-474. <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/4087>
- Monreal, J. C., & Depto. (1999). Seminario internacional gestión integral de residuos sólidos y peligrosos, Siglo XXI The application of experience in european integrated waste management to latinamerican conditions Dr. Ing. Marina Fankerra - European recovery and recycling association. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:26705259>
- Monroy Ávila, E. y Frisneda Nieto, D. (2019), *Diseño de un modelo de gestión circular de residuos sólidos para municipios de Colombia*.
- Otárola Espinoza, Y. (2023). La función supletoria de las normas de derecho civil. *Revista Chilena de Derecho y Ciencia Política*, 3(2). <https://doi.org/10.7770/rchdcp-v3n2-art360>
- Rodriguez, E. D. P. (2023). Modelo de gestión ambiental de residuos sólidos urbanos. *Revista de Investigaciones*, 12(1), 43-64. <https://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/3984>
- Superintendencia de Servicios Publicos. (2022). *Informe Nacional de disposición final de residuos sólidos 2020*. *Superservicios*, 20(281), 29. <https://Www.Superservicios.Gov.Co/Sites/Default/Files/Inline-Files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos-2022.Pdf>
- Vargas Inga, S., & Oliva, M. (2017). Factores socioeconómicos que influyen en la inadecuada gestión integral de residuos sólidos en el distrito de María. *INDES Revista de Investigación Para El Desarrollo Sustentable*, 3(2), 77. <https://doi.org/10.25127/indes.201502.009>
- Villavicencio, G. R. J. (2022). Análisis y perspectivas de la gestión integral de residuos sólidos hacia la economía circular en el contexto peruano. *Innova Biology Sciences*, 2(1), 94-106.

