

Capítulo 1

Modelo para la toma de decisiones en gestión integral de residuos sólidos en comunidades anfibias de La Mojana, Colombia. Revisión bibliográfica

Jorge Edwin Cárdenas de La Ossa¹

Olga Lucia Ocampo²

Jairo Toro Díaz³

<https://doi.org/10.61728/AE20252090>



¹ Universidad de Córdoba, Colombia. e-mail: jorgecardenaso@correo.unicordoba.edu.co

² Universidad Autónoma de Manizales, Colombia. e-mail: olocampo@autonoma.edu.co

³ Universidad Autónoma de Manizales, Colombia. e-mail: jtorod@autonoma.edu.co

1. Introducción

En el mundo, miles de personas habitan, desarrollan sus labores y dependen económicamente de entornos acuáticos, como los humedales, ríos, caños, océanos, deltas y llanuras propensas a inundaciones. La interacción constante entre el agua, el suelo y las comunidades ha generado nuevas perspectivas teóricas y etnográficas para comprender la vida humana en estos entornos húmedos (Gutiérrez Campo y Escobar Jiménez, 2021). Según Fals (1979), esta dinámica está regulada por costumbres, creencias y prácticas relacionadas con el cuidado del entorno natural, el uso de las tecnologías y las normas de producción. Estos territorios, denominados anfibios por su coexistencia dinámica entre ambientes terrestres y acuáticos, enfrentan desafíos socioecológicos complejos (Restrepo-Marín et al., 2022).

Este tipo de desafíos afecta el desarrollo de las comunidades, causando consecuencias sociales, económicas y ambientales, por lo que es objeto de investigación y conlleva su posterior análisis.

En Colombia, la gestión inadecuada de residuos sólidos intensifica los efectos adversos tanto en el medioambiente como en la salud. Actualmente, el país genera 26.25 millones de toneladas de residuos al año; de estos, el 48.2 % proviene de hogares y de este porcentaje el 86.3 % corresponde a residuos sólidos y el 13.7 % a productos residuales (Departamento Nacional de Planeación, 2020). Para el año 2050, se proyecta que la cantidad de residuos sólidos se duplique; por lo tanto, se requiere avanzar en estrategias efectivas de gestión que rompan el ciclo de ineficiencia, falta de reciclaje y recuperación de residuos, transitando hacia una economía circular en lugar de una lineal. Esta transición ha cobrado un impulso significativo en los últimos años como medio para abordar los acuciantes retos medioambientales a los que se enfrenta el mundo (De Angelis, 2022).

La aplicación de una economía circular requiere una perspectiva holística basada en el ecosistema, ya que implica la colaboración de diversas

partes interesadas, incluidas las empresas, los consumidores y los responsables políticos (Konietzko et al., 2020). Los modelos innovadores y los comportamientos de los consumidores asociados a la economía circular desempeñan un papel crucial a la hora de mitigar la degradación ambiental y el desgaste de los recursos, impulsar las oportunidades económicas a escala mundial, promover la creación de empleo local y mejorar la independencia energética (De Angelis, 2022). Sin embargo, el cambio hacia una economía circular no está exento de desafíos. La creación de un modelo integral de toma de decisiones que integre los principios de la economía circular con la dinámica de los ecosistemas puede servir como una herramienta valiosa tanto para los responsables políticos como para las empresas en la navegación de esta transición (Konietzko et al., 2020).

Diversos estudios destacan la importancia de la toma de decisiones en el ámbito de la gestión de residuos. Sandoval-Reyes et al. (2024) enfatizan la necesidad de orientar los procesos de toma de decisión a nivel local, establecer políticas para la gestión de residuos sólidos y clasificar modelos de optimización para este propósito (WM-OMs) utilizados en diversas disciplinas de estudio. Kurbatova y Abu-Qdais (2020) investigaron cómo convertir los residuos en energía mediante el modelo de análisis jerárquico de procesos (AHP). Guo (2018) propuso un innovador modelo de apoyo a la toma de decisiones para mejorar la sostenibilidad en la gestión de residuos orgánicos y aguas residuales en el Reino Unido, optimizando procesos complejos y evaluando impactos económicos y medioambientales. Mariyam et al. (2024) sugieren un marco temático para apoyar la toma de decisiones localizadas en Qatar, basado en una revisión sistemática de la literatura sobre economía circular, sostenibilidad y manejo de residuos plásticos.

Además, otros estudios abordan la economía circular en la gestión de residuos sólidos como estrategia para enfrentar el cambio climático. Tien et al. (2024) evaluaron la implementación de la economía circular en el sector del plástico, enfocándose en la reducción, reutilización y reciclaje, transformando residuos en productos útiles. Mohebbi et al. (2022) implementaron programas de reciclaje como activismo comunitario en el humedal Boujagh, donde la cooperativa de reciclaje de muje-

res Chen Kole ‘Lob gestiona residuos y educa a la comunidad sobre la relación entre la basura y la salud humana. Hanson (2017) evaluó el uso de residuos orgánicos de la agricultura y biomasa residual para generar energía eléctrica, promoviendo la sostenibilidad del humedal mediante estrategias de participación.

La Mojana es una subregión estratégica en Colombia que enfrenta una serie de desafíos que abarcan desde precariedades económicas, como la falta de empleo y acceso limitado a servicios básicos, hasta desequilibrios ambientales y problemas en gestión de residuos sólidos. Estas problemáticas se ven agravadas por amenazas adicionales asociadas al cambio climático como las inundaciones, aumentando su vulnerabilidad (Maria-Aguilera, 2005). A pesar de su importancia ambiental, La Mojana enfrenta fuertes desafíos debido a la crisis climática, que la expone a inundaciones con impactos en los aspectos social, económico, ambiental e institucional.

El propósito del presente estudio es proporcionar estrategias específicas para abordar la gestión integral de residuos sólidos en comunidades anfibias, con un enfoque particular en La Mojana, Colombia. Este enfoque se centra en el desarrollo de un modelo de toma de decisiones que evalúe el impacto del cambio climático, implemente estrategias climáticas para mejorar la gestión de residuos y promueva la economía circular mediante la participación comunitaria en la implementación sostenible de estas estrategias.

Para ello, se busca comprender los factores que inciden en el manejo de los residuos sólidos considerando las dinámicas de los territorios anfibios, y determinar las variables que influyen en esta gestión. Finalmente, se pretende validar el modelo desarrollado para que responda efectivamente a las dinámicas territoriales y complejidades de la región de La Mojana Colombiana, facilitando así la toma de decisiones informadas.

2. Materiales y métodos

El presente artículo, de carácter exploratorio y descriptivo, tiene como objetivo principal identificar y caracterizar el estado del arte de la pro-

ducción científica sobre la gestión integral de residuos sólidos en comunidades anfibias, con especial énfasis en el cambio climático. Para lograr este fin, se ha diseñado un enfoque metodológico que incorpora una Revisión Bibliográfica Sistemática (RBS), análisis bibliométrico y un análisis sistémico, permitiendo una comprensión profunda y detallada del tema en cuestión.

2.1. Metodología

Revisión Bibliográfica Sistemática (RBS): El proceso de RBS se estructuró en tres fases esenciales, conforme a los lineamientos propuestos por Conforto (2011):

- a) Planificación de la RBS: Se establecieron los objetivos de investigación y se definieron las preguntas guía. Además, se seleccionarán las bases de datos más pertinentes y se desarrollarán estrategias de búsqueda adecuadas, estableciendo criterios claros de inclusión y exclusión para recopilar estudios relevantes.
- b) Ejecución de investigaciones: Se llevó a cabo una búsqueda detallada en las bases de datos elegidas, seguida de un riguroso proceso de selección y filtrado de estudios basado en los criterios predefinidos. Los estudios seleccionados fueron sometidos a un análisis detallado mediante el software ATLAS.ti, facilitando la organización y el examen profundo del contenido relacionado con herramientas de modelación y sus aplicaciones en la evaluación de la vulnerabilidad.
- c) Síntesis de resultados: Las herramientas de modelación identificadas fueron evaluadas en términos de su eficacia, relevancia y aplicabilidad específica al contexto del estudio. Se prestó especial atención a su capacidad para abordar la vulnerabilidad multidimensional y adaptarse a las características territoriales específicas.

La herramienta de nube de palabras, implementada a través de ATLAS.ti, desempeñó un papel clave al resaltar los términos más significativos y recurrentes, facilitando la identificación de las principales tendencias y herramientas de modelación discutidas en la literatura.

2.2. Revisión bibliométrica

Se llevó a cabo una revisión bibliométrica utilizando el método VOS-viewer, con el objetivo de identificar los principales autores, revistas y líneas de investigación dentro del campo de estudio. Este análisis se basó en una revisión exhaustiva de artículos recopilados de bases de datos como Scopus y Science Direct.

El análisis preliminar de títulos, palabras clave y resúmenes permitió determinar cuáles de los trabajos resultantes de la búsqueda se relacionaban efectivamente con temas sobre gestión de residuos sólidos, economía circular, modelos de toma de decisiones, vulnerabilidad, humedales y adaptación al cambio climático.

Para esta revisión bibliográfica, se realizaron tres grupos establecidos según los objetivos, buscando herramientas e instrumentos empleados para la evaluación. Como resultado, se identificaron un total de 74.992 artículos publicados entre 2014 y 2024 (Tablas 1, 2 y 3).

Tabla 1
Selección de palabras claves

Grupo	(Campo 1)	(Campo 2)	(Campo 3)
1	Vulnerability	Climate Change	Sustainability
	Adaptation	Circular Economy	Wetland
	Circular Economy	Sustainability	Adaptation
	Solid wastes	Solid waste	Climate Change
	Wetland	Wetland	Solid Waste
	Vulnerability	Climate Change	Adaptation
Grupo	(Campo 1)	(Campo 2)	(Campo 3)
2	Adaptation	Climate Change	Vulnerability
	Climate Change	Adaptation	Resilience
	Decision making model	Circular Economy	Solid Waste
3	Circular Economy	Solid Waste	Decision making model
	Solid Waste	Decision making model	Circular Economy

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2*Número de artículos encontrados con el código*

Grupo	Código	Objetivo A	Número de artículos con el código
Base de datos: Scopus			
1	1	TITLE-ABS KEY ("Vulnerability") AND TITLE-ABS-KEY ("Adaptation") AND TITLE-ABS KEY (Circular AND Economy) AND TITLE-ABS-KEY ("Solid Waste") AND TITLE-ABS-KEY ("Wetland")	105
	2	TITLE-ABS KEY ("Climate AND Change") AND TITLE-ABS-KEY ("Circular AND Economy") AND TITLE-ABS KEY (Solid Waste) AND TITLE-ABS-KEY ("Wetland")	3
	3	TITLE-ABS KEY ("Sustainability") AND TITLE-ABS- KEY ("Wetland") AND TITLE-ABS KEY (Adaptation) AND TITLE-ABS-KEY ("Climate change") AND TITLE-ABS-KEY ("Solid AND Waste")	4
	1	TITLE-ABS KEY ("Vulnerability") AND TITLE-ABS KEY (climate AND change) AND TITLE-ABS-KEY ("Adaptation")	5316
2	2	TITLE-ABS KEY ("Adaptation" OR "Resilience") AND TITLE-ABS-KEY ("Climate change") AND TITLE-ABS-KEY ("Metrics")	481

Grupo	Código	Objetivo A	Número de artículos con el código
Base de datos: Scopus			
	3	TITLE-ABS KEY (“Resilience” OR “Climate change”) AND TITLE-ABS-KEY (“Metrics”) AND TITLE-ABS-KEY (“Adaptation”)	610
	4	TITLE-ABS KEY (“Adaptation” OR “Metrics”) AND TITLE-ABS- KEY (“Vulnerability”) AND TITLE-ABS-KEY (“Climate change”)	5163
	1	TITLE- ABS KEY (Decision AND Making AND Model) AND TITLE-ABS-KEY (“Circular AND economy”) AND TITLE-ABS-KEY (“solid AND waste”)	53
3	2	TITLE- ABS KEY (Circular AND Economy) AND TITLE-ABS-KEY (“Solid Waste”) AND TITLE-ABS-KEY (“Decision AND Making AND Model”)	178
	3	TITLE- ABS KEY (Sustainability) AND TITLE-ABS-KEY (“Solid Waste”) AND TITLE-ABS-KEY (“Decision AND Making AND Model”)	54
Base de datos: Science Direct			
1	1	Vulnerability; Adaptation; Circular Economy; Solid waste; Wetland	170
	2	Climate Change; Circular Economy; Sustainability; Solid waste, Wetlands	991
	3	Sustainability; Wetlands; Adaptation; Climate Change; Solid Waste	1477
3	1	Decision making model; circular economy; solid waste.	8387
Base de datos: Google Scholar			
1		Vulnerability; Adaptation; Circular Economy; Solid waste; Wetland	16900
		Climate Change; Circular Economy; Sustainability; Solid waste, Wetlands	17400
		Sustainability; Wetlands; Adaptation; Climate Change; Solid Waste	17700

Fuente: elaboración propia.

2.3. Análisis sistémico

El análisis sistémico se centró en examinar en profundidad los objetivos, discusiones y resultados de los artículos seleccionados. Este proceso permitió identificar vacíos de conocimiento y oportunidades para investigaciones futuras, contribuyendo significativamente a la comprensión del tema.

Se analizaron exhaustivamente los resultados obtenidos mediante las cadenas de revisión previamente establecidas, enfocándose en los títulos, introducciones y conclusiones de los trabajos que se relacionan con la investigación. Se realizó una revisión y reevaluación detallada de la bibliografía correspondiente, aplicando criterios rigurosos.

La metodología adoptada permitió un análisis integral y detallado de la producción científica relacionada con la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos en comunidades anfibias, así como la comprensión amplia de las dinámicas actuales en la gestión de residuos sólidos en contextos afectados por el cambio climático. Este enfoque resaltó la importancia de una perspectiva multidisciplinar para abordar los desafíos impuestos por el cambio climático. La implementación de estas metodologías garantizó una selección informada y basada en evidencia de las herramientas de modelación más adecuadas.

3. Resultados y discusión

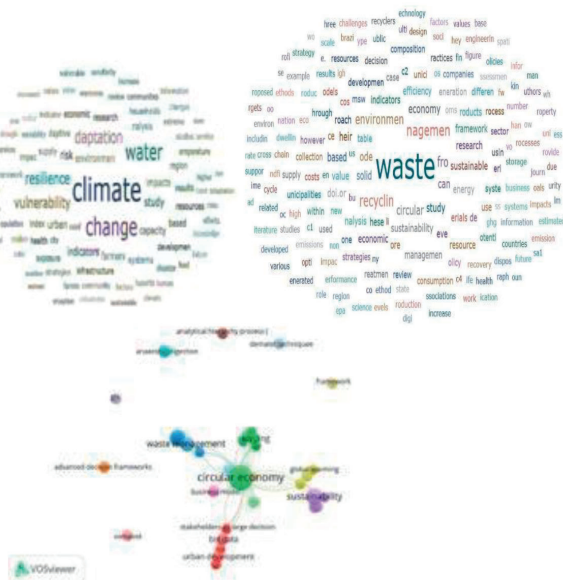
3.1. Nube de palabras en el análisis cualitativo con ATLAS.ti

Se llevó a cabo un análisis de palabras clave para identificar rápidamente temas emergentes y conceptos dominantes en los datos. Las palabras que aparecen con mayor frecuencia en el contenido textual se muestran en una nube de palabras. El Gráfico de Nubes (Figura 1) organiza las palabras por temas, asignando un tamaño de fuente a cada término según su peso o nivel de importancia. Para contextualizar estos resultados, se utilizó ATLAS.ti para revisar los fragmentos de texto asociados con las palabras clave. Los términos más dominantes en la búsqueda fueron cambio

climático, vulnerabilidad, adaptación, agua, resiliencia, residuos sólidos, economía, sostenibilidad circular, estrategias, asociaciones, ambiente y modelos de toma de decisiones.

Figura 1.

Nube de palabras y revisión de criterios



Fuente: elaboración propia desde herramienta ATLAS.ti

3.2. Portafolio bibliográfico

Luego de excluir elementos repetidos mediante la reevaluación bibliográfica, se obtuvo un total de 131 artículos que contaban con cierta relación con el tema de estudio. Este barrido recoge una serie de estudios relacionados con modelos de toma de decisiones en la gestión de los residuos sólidos. Así mismo, estudios enfocados en la adaptación y vulnerabilidad ante el cambio climático, abarcando desde la gestión de recursos hídricos hasta la resiliencia de sistemas agrícolas y comunidades en diversas regiones del mundo. A través de este amplio espectro de investigaciones, se pueden extraer varias conclusiones y apreciaciones clave sobre la relevancia y las tendencias en la investigación del cambio climático:

3.3. Diversidad geográfica

Los estudios reflejan una notable diversidad geográfica, cubriendo regiones que van desde África subsahariana hasta el sudeste asiático, pasando por América Latina y diferentes áreas de Australia y Europa. Esta variedad geográfica no solo resalta la universalidad del desafío que representa el cambio climático, sino que también subraya la necesidad de soluciones adaptadas a los contextos locales y regionales, reconociendo las diferencias en vulnerabilidad, capacidad adaptativa y necesidades específicas de cada lugar. En este contexto, los modelos de toma de decisiones son cruciales para desarrollar estrategias efectivas de gestión de residuos sólidos y promover la economía circular. Estos modelos deben ser flexibles para adaptarse a las condiciones locales y robustos para abordar desafíos globales, permitiendo una gestión eficiente y sostenible de los residuos mediante reducción, reutilización y reciclaje, con la participación de las comunidades.

Interdisciplinariedad

La interdisciplinariedad de los estudios es evidente, integrando aspectos socioeconómicos, técnicos, ambientales y de salud pública. Esta aproximación multidisciplinaria es crucial para abordar el cambio climático de manera holística, considerando la complejidad de sus impactos y la interconexión entre sistemas humanos y naturales. La incorporación de conocimientos indígenas y locales en ciertos estudios resalta la importancia de integrar ciencia moderna con saberes tradicionales para una adaptación más efectiva. Además, la integración de modelos de toma de decisiones y enfoques de economía circular es esencial para desarrollar estrategias de gestión de residuos sólidos que sean sostenibles y adaptadas a contextos específicos.

3.4. La economía circular en la toma de decisiones

La gestión de residuos sólidos en los ecosistemas es un problema complejo que requiere una solución polifacética. Lograr resultados verdaderamente sostenibles exige la aportación y cooperación de todas las partes

implicadas, desde los organismos públicos y las organizaciones sin ánimo de lucro hasta los propios ciudadanos. La economía circular se esfuerza por minimizar la contaminación y el impacto ambiental alargando la vida útil de los materiales y recursos. Es esencial que los modelos de toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos incorporen aspectos técnicos, financieros, ecológicos y sociales. La integración de estos aspectos es crucial para el éxito de los modelos en la mejora de la sostenibilidad y eficiencia de la gestión de residuos. Además, la confiabilidad de los datos y la involucración de los actores clave son factores esenciales en la creación y validación de estos modelos.

3.5. Adaptación y mitigación

La adaptación al cambio climático es central, con estrategias que abarcan desde la modificación de prácticas agrícolas hasta la gestión de recursos hídricos y la planificación urbana. La mitigación se aborda de manera indirecta mediante la gestión responsable de los recursos y la reducción de la vulnerabilidad. La adaptación comunitaria y la participación local en los procesos de toma de decisiones son cruciales para el éxito. Integrar modelos de toma de decisiones con enfoques de economía circular es esencial. Estos modelos identifican y priorizan acciones sostenibles, promoviendo la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, y optimizando la gestión de residuos sólidos. Así, se fomenta una economía circular que mitiga los efectos del cambio climático y fortalece la resiliencia comunitaria mediante una planificación más efectiva y participativa.

3.6. Software VOSviewer

Se empleó la herramienta VOSviewer para orientar el diseño metodológico de este estudio. Para obtener información pertinente que abarque el contexto específico de la investigación, se realizó una identificación de palabras clave centradas en la zona de estudio, como La Mojana. Este enfoque condujo a la identificación de 37 investigaciones en la base de datos de Scopus (Tabla 3).

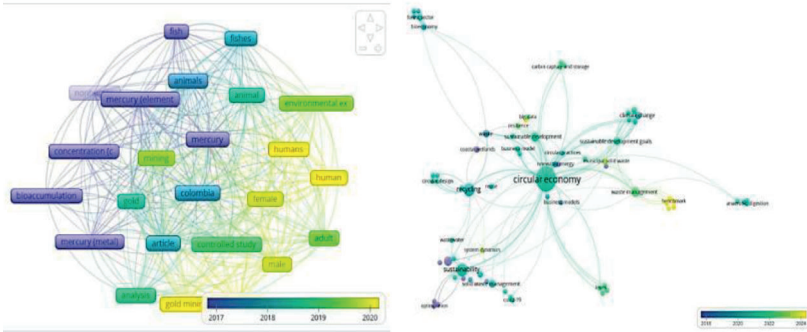
Tabla 3.
Búsqueda de base de datos “MOJANA”

Base de datos	Resultado	Palabra de búsqueda
Scopus	37	MOJANA

Fuente: elaboración de autor.

Así mismo, se realizó la identificación de conceptos o términos dominantes relacionados con la temática de estudio, como economía circular, cambio climático, gestión de residuos sólidos, sostenibilidad, reciclaje, entre otros. El análisis sistémico del portafolio bibliográfico proporcionó una visión detallada de criterios clave en las publicaciones, abordando temas como la gestión de residuos sólidos, cambio climático e impactos ambientales. La Figura 2 ilustra la incidencia y la evolución temporal de estos temas clave en la investigación.

Figura 2.
Análisis bibliométrico y mapa cronológico de coocurrencia de palabras claves



Fuente: elaboración propia desde herramienta VOSviewer.

Esta revisión bibliométrica revela una tendencia general de las investigaciones hacia enfoques exploratorios y descriptivos, detallando objetivos y metodologías. Sin embargo, se observa una carencia significativa de información específica sobre modelos para la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos con un enfoque de economía circular y cambio climático en comunidades anfibias.

4. Discusión

La revisión de la literatura efectuada en este trabajo, complementada con la perspectiva de diversos autores, pone en manifiesto que, si bien existe información relacionada con modelos para la toma de decisiones en el ámbito de la gestión de residuos en la reducción de la vulnerabilidad, la economía circular y la gestión del riesgo climático, muy pocos tienen en cuenta la aplicación en zonas rurales o su adaptación a ecosistemas anfibios. El estado de modelos para la toma de decisiones aplicado a contextos ecosistémicos debe reforzarse aún más en futuras investigaciones científicas mediante la consideración de entornos rurales y ecológicos. Este vacío de conocimiento subraya la necesidad urgente de abordar aspectos específicos como eventos climáticos extremos, inundaciones y la importancia de la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos en el contexto de estas comunidades. Enfocarse en estas áreas críticas no solo mejoraría la comprensión de los desafíos actuales, sino que también proporcionaría la base necesaria para el diseño de estrategias efectivas y sostenibles en estas comunidades vulnerables.

En la gestión de residuos sólidos en comunidades, si bien es una de las principales preocupaciones debido a la falta de infraestructuras y recursos, existen diversas alternativas donde pueden aplicarse estrategias de economía circular. Estudios como los de Dumé (2022), Doorga et al. (2022), Ahmed et al. (2022) y Kanani (2022) discuten la extracción de valor de residuos orgánicos mediante el compostaje, la generación de biogás y la fabricación de biofertilizantes. Además, la reutilización y reciclaje de empaques de productos y la transformación de papel en ladrillos para la construcción son prácticas recomendables, siempre que se precedan de una capacitación adecuada para la comunidad en el manejo de estas prácticas y tecnologías de gestión. Estos estudios demuestran la importancia de entender y aplicar conocimientos locales y específicos del contexto para abordar de manera efectiva los retos ambientales, lo cual es crucial en el contexto de comunidades anfibias.

La discusión sobre los modelos para la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos, como abordan Rafew et al. (2023) y Feyzi et al. (2019), sugiere que para el desarrollo de estos modelos es importante

abarcando puntos de vista técnicos, financieros y ecológicos, e integrar aspectos sociales y culturales. Estos autores destacan la relevancia de la participación de los actores claves y la confiabilidad de los datos. La integración de estos aspectos es crucial para el éxito de estos modelos en la mejora de la sostenibilidad y eficiencia de la gestión de residuos sólidos. En términos de futuras investigaciones, la limitación en la descripción superficial de intervenciones y la falta de consideración de factores cruciales en la gestión de residuos sólidos puede ser abordada inspirándose en los enfoques metodológicos y las evaluaciones detalladas presentes en los estudios mencionados. La necesidad de detallar las actividades de los programas de gestión de residuos sólidos para facilitar su adaptación y replicación resalta la importancia de crear instrumentos de medición específicos y válidos.

Este trabajo enfatiza la importancia de llenar el vacío de información para desarrollar estrategias efectivas y sostenibles que aborden la problemática de la gestión de residuos sólidos en comunidades anfibias, integrando las lecciones aprendidas de estudios sobre adaptación al cambio climático, resiliencia y la aplicación de conocimientos indígenas y locales. La inclusión de estos enfoques no solo contribuirá a mejorar la gestión de residuos en comunidades específicas, sino que también reforzará su capacidad de adaptación y resiliencia ante los desafíos ambientales actuales y futuros.

5. Conclusiones

La economía circular y la gestión integrada de residuos sólidos se enfrentan a desafíos únicos en los ecosistemas de humedales y pantanos. Estos entornos delicados y biodiversos requieren estrategias de gestión de residuos que consideren su vulnerabilidad. Uno de los principales retos es el impacto potencial de los residuos en la biodiversidad de los humedales por las actividades humanas; la disposición inadecuada de residuos puede provocar la contaminación de las masas de agua y el suelo, perjudicando a la flora y la fauna que dependen de estos ecosistemas (Mander y Chazarenc, 2015). Además, la naturaleza anegada de los humedales puede dificultar la aplicación de técnicas tradicionales de gestión

de residuos (Preussler et al., 2015). El análisis de los estudios revisados revela que la gestión de residuos sólidos es un campo polifacético que requiere planteamientos innovadores adaptados a los contextos locales. Los modelos de toma de decisiones en este ámbito integran aspectos sociales, económicos y medioambientales, destacando la importancia de la participación de las partes interesadas y la fiabilidad de los datos.

Estas técnicas y enfoques demuestran que la gestión de residuos sólidos puede beneficiarse enormemente de la adopción de modelos de toma de decisiones sofisticados y adaptativos, capaces de abordar la complejidad y variabilidad inherentes a los sistemas de residuos. La integración de criterios económicos, sociales y medioambientales, junto con la participación de las partes interesadas y el uso de datos precisos, es crucial para el éxito de estos modelos en la mejora de la sostenibilidad y eficiencia de la gestión de residuos sólidos. Estos ecosistemas presentan interdependencias complejas que la investigación tradicional no suele captar. Una simulación de dinámica de sistemas y toma de decisiones conceptuales podría modelizar eficazmente la red de interacciones hidrológicas, biológicas y antrópicas que dan forma a estas zonas. Un modelo de este tipo permitiría experimentar in situ distintos escenarios ambientales, económicos y sociales. Se podría comprobar cómo repercuten en el sistema las políticas alternativas de gestión de residuos o conservación, evaluando los efectos de segundo orden sobre la biodiversidad, la salud humana y la productividad regional, entre otros.

El planteamiento ofrece una perspectiva integrada que considera la marisma como un conjunto anidado de procesos dinámicos y no como componentes aislados. Con módulos especializados que tienen en cuenta la función ecológica, la actividad económica, el bienestar público y otros factores, el modelo se convierte en una ayuda para la planificación estratégica. Aporta información sobre las intervenciones que optimizan la sostenibilidad y la capacidad de recuperación a largo plazo, un conocimiento crucial para salvaguardar estos hábitats precarios, pero de incalculable valor.

Incorporar la relevancia de la economía circular y su relación con el cambio climático en el contexto de la gestión de residuos sólidos en comunidades anfibias enriquece y complejiza aún más nuestras conclu-

siones. La economía circular ofrece un marco prometedor para abordar simultáneamente los desafíos del cambio climático y la gestión de residuos, al fomentar la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, minimizando así la generación de desechos y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la extracción, producción y disposición de recursos. En resumen, la integración de la economía circular y modelos de toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos en comunidades anfibias no solo es esencial para enfrentar el cambio climático de manera efectiva, sino que también representa una oportunidad para repensar y rediseñar sistemas de gestión de residuos que sean resilientes, adaptativos y capaces de soportar las dinámicas complejas de estas comunidades únicas. La transición hacia la economía circular en estas áreas puede proporcionar un modelo para la gestión sostenible de residuos que pueda ser replicado y adaptado en otros contextos vulnerables al cambio climático.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, M. (2005). *La economía del Departamento de Sucre: Ganadería y sector público*. Banco de la República. <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-63-VE.pdf>
- Aguilera, M. (2009). *Ciénaga de Ayapel: Riqueza en biodiversidad y recursos hídricos*. Banco de la República (Banco Central de Colombia), 112, 136-197. <https://www.banrep.gov.co/es/cienaga-ayapel-riqueza-biodiversidad-y-recursos-hidricos>
- Ahmed, Z., Mahmud, S., & Acet, D. H. (2022). Circular economy model for developing countries: Evidence from Bangladesh. *Heliyon*, 8(5), e09530. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09530>
- De Angelis, R. (2022). Circular economy business models: A repertoire of theoretical relationships and a research agenda. *Circular Economy and Sustainability*, 2(2), 433-446. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00133-x>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Guía nacional para la adecuada separación de residuos*. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/ViviendaAguayDesarrolloUrbano/Guia_ResiduosSolidos_Digital.pdf

- Doorga, J. R. S., Rughooputh, S. D. D. V., Chung, S. Y., & McGivern, A. (2022). A geospatial approach for addressing long-term solid waste management issues: Extracting value from waste. *Journal of Cleaner Production*, 334, 130282. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130282>
- Dumée, L. F. (2022). Circular materials - An essay on challenges with current manufacturing and recycling strategies as well as on the potential of life cycle integrated designs. In *Circular Economy and Sustainability* (pp. 359-372). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821664-4.00008-X>
- Fals Borda, O. (1979). Historia doble de la Costa. Universidad Nacional de Colombia, Banco de la República, *El Áncora*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2992>
- Feyzi, S., Khanmohammadi, M., Abedinzadeh, N., & Aalipour, M. (2019). Multi-criteria decision analysis FANP based on GIS for siting municipal solid waste incineration power plant in the north of Iran. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101513. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101513>
- Guo, M. (2018). Multi-scale system modelling under circular bioeconomy. *Computer Aided Chemical Engineering*, 43, 833-838. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64235-6.50146-7>
- Gutiérrez Campo, R., & Escobar Jiménez, K. (2021). Amphibious territory and dispossession in a protected wetland area of the Colombian Caribbean. *Revista de Estudios Sociales*, 76, 75-92. <https://doi.org/10.7440/res76.2021.06>
- Hanson, A.-M. (2017). Women's environmental health activism around waste and plan pollution in the coastal wetlands of Yucatán. *Gender & Development*, 25(2), 221-234. <https://doi.org/10.1080/13552074.2017.1335450>
- Kanani, R. (2022). *Equilibrium modeling and statistical analysis of struvite precipitation for nutrient recovery from corn-ethanol downstream process*. In *Circular Economy and Sustainability* (pp. 463-490). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821664-4.00022-4>
- Konietzko, J., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2020). A tool to analyze, ideate and develop circular innovation ecosystems. *Sustainability*, 12(1), 417. <https://doi.org/10.3390/su12010417>

- Kurbatova, A., & Abu-Qdais, H. A. (2020). Using multi-criteria decision analysis to select waste to energy technology for a Mega city: The case of Moscow. *Sustainability*, 12(23), 9828. <https://doi.org/10.3390/su12239828>
- Mander, Ü., & Chazarenc, F. (2015). Wetland pollutant dynamics and control. *Ecological Engineering*, 80, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.03.003>
- Mariyam, S., Cochrane, L., Al-Ansari, T., & McKay, G. (2024). A framework to support localized solid waste management decision making: Evidence from Qatar. *Environmental Development*, 50, 100986. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.100986>
- Mohebbi, N., Nouri, J., Khorasani, N., & Riazi, B. (2022). Environmental management for human communities around wetlands adjacent urban region by ecological risk approach. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 7(1), 1-16. <https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2022.01.01>
- Preussler, K. H., Mahler, C. F., & Maranhão, L. T. (2015). Performance of a system of natural wetlands in leachate of a posttreatment landfill. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(8), 2623-2638. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0674-0>
- Rafew, S. M., Razul, I. M., & Kraft, E. (2023). A system dynamics based policy simulation approach to reduce plastic waste flow for inland and riverine area in Khulna City of Bangladesh. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3205338/v1>
- Restrepo Marín, L., Arboleda Lopera, A., & Pedroza Valdez, C. (2022). Cultura material del hábitat anfibio: un caso de estudio en Bocas del Atrato en Colombia. *Módulo Arquitectura CUC*, 30, 70-98. <https://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.30.1.203.03>
- Sandoval-Reyes, M., He, R., Semeano, R., & Ferrão, P. (2024). Mathematical optimization of waste management systems: Methodological review and perspectives for application. *Waste Management*, 174, 630-645. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.10.006>
- Tien, N. D., Lam Duyen, T. N., Thanh Huyen, N. T., Anh, P. Q., Oanh, N. T., Tich, V. V., Dat, D. T., Hong Hanh, N. T., & Trang, V. H. (2024). Community-based ecotourism for sustainability: An evaluative analy-

sis of Binh Son district, Quang Ngai province in Vietnam. *Social Sciences and Humanities Open*, 9, 100807. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100807>