



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL GAD MUNICIPAL
DE SALCEDO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DINÁMICO 2024”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenierías Ambientales

Autoras:

Guilcaso Chicaiza Jessica Marcela

Quispe Pasaca Daniela Estefanía

Tutor:

Agreda Oña José Luis

LATACUNGA- ECUADOR

Agosto 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Guilcaso Chicaiza Jessica Marcela, con cédula de ciudadanía No. 0504431537 y Quispe Pasaca Daniela Estefanía, con cédula de ciudadanía No. 1718525429, declaramos ser autoras del presente Proyecto de Investigación: **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL GAD MUNICIPAL DE SALCEDO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DINÁMICO 2024”**, siendo el Ingeniero Mg. José Luis Agreda Oña, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 15 de agosto del 2024



Jessica Marcela Guilcaso Chicaiza

C.C:0504431537

ESTUDIANTE



Daniela Estefanía Quispe Pasaca

C.C:1718525429

ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **GUILCASO CHICAIZA JESSICA MARCELA**, identificada con cédula de ciudadanía **0504431537** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL GAD MUNICIPAL DE SALCEDO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DINÁMICO 2024”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2016- Marzo 2017

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ingeniero M.Sc. José Luis Ágreda Oña

Tema: **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL GAD MUNICIPAL DE SALCEDO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DINÁMICO 2024”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

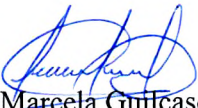
CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicite.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 15 días del mes de agosto del 2024.


Jessica Marcela Guílcasa Chicaiza
LA CEDENTE

Dr. Idalia Eleonora Pacheco Tigsalema
LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **QUISPE PASACA DANILEA ESTEFANIA**, identificada con cédula de ciudadanía **1750969287** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL GAD MUNICIPAL DE SALCEDO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DINÁMICO 2024”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2019 - Marzo 2020

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ingeniero M.Sc. José Luis Ágreda Oña

Tema: **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL GAD MUNICIPAL DE SALCEDO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DINÁMICO 2024”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicite.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 15 días del mes de agosto del 2024.

Daniela Estefanía Quispe Pasaca
LA CEDENTE

Dr. Idalia Eleonora Pacheco Tigsalema
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL GAD MUNICIPAL DE SALCEDO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DINÁMICO 2024” de

Guilcaso Chicaiza Jessica Marcela y Quispe Pasaca Daniela Estefanía, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre-defensa.

Latacunga, 15 de Agosto del 2024



Ing. José Luis Agreda Oña, Mg.

CC: 0401332101


DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN


En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, las postulantes: Guilcaso Chicaiza Jessica Marcela, y Quispe Pasaca Daniela Estefanía, con el título del Proyecto de Investigación: **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL GAD MUNICIPAL DE SALCEDO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DINÁMICO 2024”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.


Latacunga, 15 de Agosto del 2024



Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Mg
C.C:0502188451
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.
C.C:0502205164
LECTOR 2(MIEMBRO)



Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg
C.C:0400689790
LECTOR 3(MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme estar de pie en cada obstáculo presente en mi formación académica, a mis docentes desde mi primer día, haber compartido todos sus conocimientos y experiencias, los cuales me han ayudado a crecer como estudiante y persona.

A mi familia, quien ha estado presente con su apoyo incondicional, y un agradecimiento a mi persona por seguir firme con su objetivo sin darse por vencida a pesar de todos los obstáculos presentados tanto en mi formación académica y personal, hoy puedo decir que todo lo que se propone se cumple.

Daniela Estefanía Quispe Pasaca

Agradezco a mi padre Marcelo Guilcaso que, con su amor incondicional, trabajo y sacrificio, supo guiarme y acompañarme en cada momento de mi vida, el camino no ha sido sencillo, pero gracias a sus aportes, a su cariño, a su inmensa bondad y apoyo he podido concluir con mi tan anhelado sueño.

A mi consejera de vida mi hermana mayor María Fernanda quien siempre estuvo poyándome, dándome fuerza para no rendirme en cada paso que doy y siendo mi apoyo fundamental, a mi hermanita menor Teresa Dayana quien con su cariño camino junto a mi durante esta maravillosa etapa de mi vida siendo mi cómplice de aventuras.

Jessica Marcela Guilcaso Chicaiza

DEDICATORIA

En primer mi amada Elsa sin duda alguna mami te debo tanto, gracias infinitas por todo tu amor, por ayudarme a no caer y levantarme en cada caída con tu amor incondicional, gracias por luchar a mi lado mi amor eterno. A mis hermanos Javier y Oscar quienes han sido siempre un ejemplo a seguir en toda mi formación académica, A mi amado Daniel gracias, papi por todo tu apoyo y amor incondicional y por estar conmigo en cada tropiezo y ayudarme a seguir luchando por cada uno de mis sueños. A mi amado hijo Aarón, gracias, mi niño por haber ayudado a mamá a no rendirse a pesar de que el camino no fue fácil. Y a mi compañero de vida Andrés, quien me enseñó a levantarme en cada momento difícil, sin rendirme, gracias por ser mi apoyo en todo este proceso.

Daniela Estefanía Quispe Pasaca

Esta tesis se la dedico con todo el amor del mundo a mi hijo David Alejandro quien con su amor supo ser mi fortaleza día a día, desde que llegó a mi vida se ha convertido en mi motor e inspiración por eso es por lo que cada logro será dedicado para el por qué es la mayor bendición que Dios me pudo dar. Está tesis también se la dedico a mis dos ángeles que me guiaron desde el cielo a mi Papito Segundo y Mamita Tere mis dos grandes fortalezas.

Jessica Marcela Guilcaso Chicaiza

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL GAD MUNICIPAL DE SALCEDO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DINÁMICO 2024”

Autoras:

Guilcaso Chicaiza Jessica Marcela
Quispe Pasaca Daniela Estefanía

RESUMEN

El presente informe tiene como objetivo mejorar el sistema de manejo de desechos del GAD Municipal de Salcedo mediante la implementación de un sistema dinámico en 2024, con el fin de optimizar la eficacia en la gestión de desechos, reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida de la comunidad. Se plantearon varios objetivos específicos, comenzando por evaluar la situación actual del sistema de gestión de desechos en el Cantón Salcedo. Este análisis se centró en identificar carencias y oportunidades para su optimización, revisando la infraestructura existente, los procedimientos de recolección y disposición, así como las prácticas de separación y reciclaje. En segundo lugar, se elaboró un plan integral basado en un sistema dinámico, que abarca todas las fases de la gestión de residuos, desde la recolección y disposición final. Finalmente, se propuso ejecutar y evaluar el nuevo sistema dinámico de gestión de residuos. Esta fase implicó valorar la eficacia del sistema en términos de reducción de la contaminación, mejora de la calidad de vida de los ciudadanos y fortalecimiento de las capacidades del GAD Municipal de Salcedo. El análisis abarcó variables como la población, tipos de desechos (sanitarios, comunes, orgánicos y reciclables) y la capacidad del relleno sanitario. Se utilizó el software Vensim para simular el sistema y evaluar su rendimiento. Se proyectaron tres escenarios: revalorización de residuos al 30%, un incremento del 20% en la separación en la fuente, y la combinación de ambos enfoques para alcanzar un aprovechamiento del 50%. El análisis también proyectó un aumento del 20% en la producción de residuos sólidos para 2024, con una fórmula geométrica.

En el primer escenario, se previó una capacidad disponible para almacenar 36.365,900 toneladas de residuos hasta 2040, mientras que el tercer escenario indicó una capacidad ampliada a 21.431,900 toneladas. En términos de aprovechamiento de residuos, el tercer escenario permitiría un aprovechamiento constante del 42%, comparado con un 37% en el primer escenario y un 19% en el segundo, reflejando un aumento de 3 puntos porcentuales respecto al escenario actual. Estos resultados fueron esenciales para formular un plan de mejoras para la gestión integral de residuos en el cantón Salcedo.

Palabras clave: sistema de gestión integral, vensim, sostenibilidad, revalorización, simulación.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "OPTIMIZATION OF THE WASTE MANAGEMENT SYSTEM OF THE SALCEDO MUNICIPAL GAD THROUGH A DYNAMIC SYSTEM 2024"

Authors:

Jessica Marcela Guilcaso Chicaiza
Quispe Pasaca Daniela Estefanía

ABSTRACT

The purpose of this report is to improve the waste management system of the Municipal GAD of Salcedo through the implementation of a dynamic system in 2024, with the aim of optimizing the efficiency of waste management, reducing environmental impact, and improving the quality of life of the community. Several specific objectives were set, starting with an evaluation of the current state of the waste management system in Salcedo Canton. This analysis focused on identifying deficiencies and opportunities for optimization, reviewing existing infrastructure, collection and disposal procedures, as well as separation and recycling practices. Secondly, a comprehensive plan was developed based on a dynamic system that encompasses all phases of waste management, from collection to final disposal. Finally, the execution and evaluation of the new dynamic waste management system were proposed. This phase involved assessing the system's effectiveness in terms of pollution reduction, improving citizens' quality of life, and strengthening the capacities of the Municipal GAD of Salcedo. The analysis covered variables such as population, types of waste (sanitary, common, organic, and recyclable), and the capacity of the sanitary landfill. Vensim software was used to simulate the system and evaluate its performance. Three scenarios were projected: 30% waste recovery, a 20% increase in source separation, and a combination of both approaches to achieve a 50% recovery rate. The analysis also projected a 20% increase in solid waste production for 2024, using a geometric formula.

In the first scenario, available capacity was projected to store 36,365.900 tons of waste until 2040, while the third scenario indicated an expanded capacity of 21,431.900 tons. In terms of waste recovery, the third scenario would allow for a constant recovery rate of 42%, compared to 37% in the first scenario and 19% in the second, reflecting an increase of 3 percentage points over the current scenario. These results were essential for formulating an improvement plan for integrated waste management in Salcedo Canton.

Keywords: integrated management system, sustainability, revalorization, simulation.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	viii
AGRADECIMIENTO	ix
DEDICATORIA.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xx
1 INFORMACIÓN GENERAL	1
2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
3.1 Beneficiarios Directos:	4
3.2 Beneficiarios Indirectos:.....	4
4 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
4 OBJETIVOS:.....	6
4.1 Objetivo General.....	6

4.2	Objetivos Específicos	6
5	ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
5.1	Actividad y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	6
6	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO, TÉCNICA.....	7
6.1	Antecedentes.....	7
5.2	Residuos sólidos	10
5.2.1	Clasificación de los residuos	11
5.2.1.2	Modelos tradicionales de gestión de residuos	14
5.3	Principios y técnicas de optimización en la gestión de residuos	23
5.3.1	Técnicas de Optimización en la Gestión de Residuos.....	24
5.3.2	Uso de modelos matemáticos y simulaciones para la optimización de la gestión de residuos.....	25
5.3.3	Métodos de evaluación de la eficiencia en sistemas de gestión de residuos	27
5.4	Sistemas Dinámicos en la Gestión de Residuos	28
5.4.1	Disposición final de residuos.....	30
5.4.2	Aplicación de la Jerarquía de Residuos.....	32
5.4.3	Prevención de Residuos.....	32
5.3.2.2	Reutilización.....	32
5.4.4	Reciclaje	33

5.4.4.1 Valoración energética.....	33
5.5 Estrategias para la Reducción de Residuos:	34
5.5.1 Diseño para la Reducción de Residuos	35
5.6 Fases del Sistema de gestión integral de residuos sólidos.....	38
5.7 Software Vensim	41
5.7.1 Enfoque en Vensim	42
5.7.2 Estructura del Sistema	44
5.7.3 Bucle de retroalimentación.....	46
5.7.4 Bucle de retroalimentación positiva	46
5.7.5 Bucle de retroalimentación negativa:	47
5.8 Teoría de Sistemas Dinámicos	50
5.8.1 Componentes Básicos de un Sistema Dinámico.....	52
5.8.2 Tipos de Sistemas Dinámicos:.....	53
5.8.2.1 Sistemas Dinámicos Lineales	53
5.8.2.2 Sistemas Dinámicos No Lineales	53
5.8.2.3 Sistemas Estables.....	54
5.8.2.4 Sistemas Inestables	54
5.8.2.5 Sistemas Dinámicos Discretos	54
5.8.2.6 Sistemas Dinámicos Continuos	54
5.9 Sistemas dinámicos en la gestión de Residuos.....	55

5.10 Marco Normativo Legal	56
5.10.1 Constitución de la República del Ecuador.....	57
5.10.2 Código Orgánico del Ambiente (COA).....	57
5.10.3 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	58
5.10.4 Acuerdo N.º 61 reforma del Libro VI del Texto unificado de Legislación Secundaria .58	
7 PREGUNTAS CIENTÍFICAS	59
8 DISEÑO METODOLÓGICO	60
8.1 Área de Estudio	60
<i>Fuente:</i> GAD Municipal de Salcedo	60
<i>Fuente:</i> Autor propio	61
8.1 Enfoque de la Investigación	61
8.2 Tipos de Investigación.....	62
8.2.1 Investigación experimental.....	62
8.2.2 Investigación de campo	62
8.2.3 Investigación Bibliográfica	63
8.3 Técnicas de Investigación.....	63
8.3.1 La observación.....	63
8.3.2 Recopilación de Datos	64
8.3.3 Diseño de Investigación.....	64

8.3.4 Alcance de la Investigación.....	64
8.3.5 Análisis de Datos.....	65
8.4 Población.....	65
8.5 Contextualización de las problemáticas del Cantón Salcedo.....	65
8.5.1 Variables que se utilizan en Vensim para la simulación de sistemas.....	66
8.5.2 Definición de variables para el análisis del sistema dinámico en el diagrama de causales.	66
9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
9.1.1 Caracterización de Sistema de Gestión Integral como Sistema Dinámico.....	68
9.1.2 Diseño dinámico del Sistema de gestión integral de Residuos Solidos.....	70
9.2 Resultado Simulados.....	71
9.1.3 Capacidad del Relleno Sanitario.....	73
9.1.4 Residuos sanitarios.....	75
9.1.5 Ingresos comunes al Relleno Sanitario.....	76
9.1.6 Recuperación de Material Reciclado.....	77
9.2 Discusión de Resultados.....	82
9.2.1 Análisis de mejora en el sistema de gestión Integral de Residuos Sólidos.....	83
9.2.2 Estrategias de mejora de la gestión de residuos solidos.....	85
10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
10.1 Conclusiones.....	86

10.2 Recomendaciones	87
11. Bibliografía	89
12 ANEXOS	122
12.1 Anexo 1. Oficio Generado por el GAD Municipal para la utilización de los datos.	123
12.2 Anexo 2. Datos Proporcionados por el GAD Municipal de Salcedo	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Jerarquía de residuos	21
Figura 2.Fase de Gestión Integral.....	40
Figura 3.Software Vensim.....	44
Figura 4.Diagrama Abierto.....	45
Figura 5.Bucle de retroalimentación positiva.....	47
Figura 6. Diagrama de retroalimentación negativa	48
Figura 7.Ubicación del Cantón Salcedo	60
Figura 8.Ubicación del Relleno Sanitario.....	61
Figura 9.Diagrama de causas con las variables de estudio Sistema integral de gestión de residuos sólidos.....	68
Figura 10.Diagrama de Flujo y Niveles.....	70
Figura 11.Datos reales contra simulación para afinar el modelo Vensim	72
Figura 12.Capacidades del relleno Sanitario	74
Figura 13.Desechos Sanitarios	75
Figura 14. Ingreso de desechos comunes al relleno	76
Figura 15.Recuperación de material reciclado	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto	4
Tabla 2. Objetivos planteados	6
Tabla 3. Coordenadas de ubicación	61
Tabla 4. Número de Viviendas del Cantón Salcedo.....	65
Tabla 5. Variables.....	66

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Optimización del sistema de gestión de residuos del Gad Municipal de Salcedo a través de un sistema dinámico”

Lugar de ejecución:

Cantón Salcedo Provincia de Cotopaxi

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, carrera de Ingeniería en Medio Ambiente.

Equipo de trabajo:

- **Tutor:** Ing. José Luis Ágreda Oña.
- **Lector 1:** Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Mg.
- **Lector 2:** Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg
- **Lector 3:** Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg.

Área de Conocimiento:

Ciencia Naturales. Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

Línea de investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

Sub-línea de Investigación de la Carrera:

Sostenibilidad Ambiental

Línea de Vinculación de la Facultad:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La gestión de residuos en el ámbito municipal es un desafío multifacético que cobra especial relevancia en contextos como el de Salcedo, donde el crecimiento poblacional ha generado un aumento significativo en la producción de desechos. Este crecimiento, si bien refleja un desarrollo económico y social positivo, también conlleva retos considerables para los sistemas de gestión de residuos actuales, que a menudo se ven sobrepasados por la cantidad y diversidad de los desechos generados. En este sentido, la necesidad de optimizar dichos sistemas no es solo una cuestión de eficiencia operativa, sino una obligación para garantizar la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida del ciudadano (Gómez & Delgado, 2020)s.

Además, la ineficiencia en la gestión de residuos tiene un impacto directo y negativo sobre el medio ambiente y la salud pública. Huamani y Tudela, (2021), aduce que la acumulación y disposición inadecuada de residuos puede llevar a la contaminación de suelos, cuerpos de agua y la atmósfera, lo que a su vez genera problemas de salud entre la población, como enfermedades respiratorias y gastrointestinales. Asimismo, la presencia de desechos en áreas urbanas puede atraer plagas, generar malos olores y deteriorar el entorno, creando una situación insalubre y desagradable para los habitantes. Estos problemas evidencian la urgencia de contar con un sistema de gestión de residuos más eficiente, que minimice estos riesgos y promueva un entorno más limpio y saludable.

Por otro lado, la implementación de un sistema dinámico para la gestión de residuos no solo se justifica por razones ambientales y de salud, sino también por sus implicaciones económicas. Moreno y Freire, (2021), aducen que un sistema optimizado permite una reducción significativa en los costos asociados a la recolección, transporte y disposición de residuos, lo cual es crucial para la sostenibilidad financiera del GAD Municipal de Salcedo. Al mejorar la eficiencia operativa, se pueden liberar recursos que pueden ser destinados a otras áreas prioritarias del municipio. Además, el aprovechamiento de tecnologías avanzadas, como el monitoreo en tiempo real de los residuos y las plantas de reciclaje automatizadas, no solo mejora la eficiencia del sistema, sino que también permite la recuperación y valorización de materiales reciclables, lo que puede generar ingresos adicionales para el municipio.

Igualmente, es importante considerar que la implementación de un sistema de gestión de residuos optimizado contribuye a mejorar la imagen institucional del GAD Municipal de Salcedo. En un contexto donde las normativas ambientales y las políticas de sostenibilidad son cada vez más estrictas, el cumplimiento de estas regulaciones no solo es una obligación legal, sino también una oportunidad para que el municipio se posicione como un líder en la gestión ambiental. Adoptar prácticas modernas y sostenibles no solo asegura el cumplimiento normativo, sino que también refuerza la confianza de los ciudadanos en las instituciones locales, demostrando un compromiso real con la protección del medio ambiente y la mejora de la calidad de vida de la comunidad (Orosco & Pulgarín, 2021).

Asimismo, la participación ciudadana juega un papel fundamental en el éxito de un sistema de gestión de residuos. Rodríguez y López, (2020), menciona que la educación y sensibilización de la población sobre la importancia de la correcta gestión de los residuos son cruciales para fomentar una cultura de responsabilidad ambiental. Un sistema dinámico puede facilitar la implementación de campañas educativas y programas de concienciación, que no solo instruyan a los ciudadanos sobre prácticas adecuadas de manejo de residuos, sino que también los motiven a participar activamente en la reducción, reciclaje y disposición correcta de los desechos. De esta manera, se construye una comunidad más consciente y comprometida con la sostenibilidad.

Finalmente, la optimización del sistema de gestión de residuos también tiene una dimensión estratégica a largo plazo. Al desarrollar e implementar un sistema dinámico y adaptable, el GAD Municipal de Salcedo no solo aborda las necesidades actuales, sino que también se prepara para enfrentar los desafíos futuros. Este tipo de sistema puede ajustarse a las variaciones en la generación de residuos, así como a los cambios tecnológicos y regulatorios que puedan surgir en el futuro. En este sentido, la optimización del sistema de gestión de residuos no solo es una solución para el presente, sino una inversión en la resiliencia y sostenibilidad futura del municipio.

3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

3.1 Beneficiarios Directos:

La implementación del sistema de gestión de residuos beneficiará a múltiples partes interesadas en Salcedo. En primer lugar, los 58.216 residentes del Cantón Salcedo se verán directamente favorecidos con un entorno más limpio y saludable. En segundo lugar, las 10 autoridades municipales responsables de la administración del Cantón se beneficiarán indirectamente al contar con mejores herramientas y procesos para la gestión de residuos. Por último, las 5 empresas locales de recolección y reciclaje también se beneficiarán gracias a la mejora en la eficiencia operativa y la rentabilidad, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1.

Beneficiarios del proyecto

BENEFICIARIOS DIRECTOS	BENEFICIARIOS INDIRECTOS
Habitantes de Salcedo (Aprox. 58.216 personas)	Familias y Hogares en Salcedo (Aprox. 15,000 hogares)
Autoridades Municipales de Salcedo (Aprox. 10 funcionarios)	Comunidades Vecinas y Municipios Adyacentes (Varía según la extensión)
Empresas de Recolección y Reciclaje locales (Aprox. 5 empresas)	Medio Ambiente y Ecosistemas Locales
TOTAL: 69.985	

3.2 Beneficiarios Indirectos:

Los beneficiarios indirectos incluyen a los habitantes de la Provincia de Cotopaxi, así como a las empresas y comerciantes de la región.

4 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En Ecuador, la gestión de residuos sólidos ha emergido como un desafío cada vez más apremiante, especialmente en regiones que experimentan un rápido crecimiento urbano y una expansión demográfica constante, este problema se torna particularmente crítico en la Provincia de Cotopaxi, donde la falta de eficiencia en el manejo de desechos sólidos ha tenido repercusiones significativas tanto en el medio ambiente como en la salud pública. Dentro de esta provincia, el Cantón Salcedo se enfrenta a una situación aún más alarmante, ya que su sistema actual de gestión de residuos no ha logrado evolucionar al ritmo de las crecientes necesidades y demandas de su población (Moreno et al., 2021).

En Salcedo, la inadecuada acumulación de basura, la contaminación persistente de los recursos naturales y la carencia de un manejo integral y eficiente de los desechos han dado lugar a una serie de problemas que afectan no solo a los habitantes locales, sino también a la población en general de toda la provincia. La ineficacia del sistema de recolección y disposición de residuos ha contribuido a la degradación ambiental, lo que, a su vez, repercute negativamente en la salud y el bienestar de la ciudadanía. Este deterioro ambiental también ha afectado la percepción de Salcedo como un lugar limpio, seguro y sostenible, comprometiendo su atractivo tanto para los residentes como para los visitantes (Moreno et al., 2021).

Además de los efectos directos sobre los residentes, esta situación ha tenido un impacto indirecto pero significativo en las empresas y comerciantes de la región. La ausencia de un sistema eficiente de gestión de residuos no solo ha incrementado los costos operativos para las empresas locales, sino que también ha limitado las oportunidades de desarrollo económico en sectores clave como el reciclaje y la reutilización de materiales. Estas industrias, que podrían generar valor económico adicional y contribuir a la creación de empleos, se ven obstaculizadas por las deficiencias del sistema actual. Por su parte, los comerciantes, que dependen de un entorno saludable y atractivo para atraer y retener a sus clientes, también sufren las consecuencias de un manejo deficiente de los desechos, lo que afecta su competitividad y sostenibilidad a largo plazo (Quinteros, 2019).

Frente a esta problemática multifacética, se hace imperativo considerar la implementación de un sistema de gestión de residuos que sea tanto dinámico como sostenible en el Cantón Salcedo. Un sistema de este tipo no solo abordaría de manera integral los problemas ambientales y de salud pública que afectan directamente a la comunidad, sino que también generaría una serie de beneficios indirectos para toda la Provincia de Cotopaxi. Entre estos beneficios, se destacan la optimización de los procesos operativos para las empresas locales, el fortalecimiento de la competitividad de los comerciantes y la creación de nuevas oportunidades económicas en áreas como el reciclaje y la gestión de recursos. En última instancia, la solución propuesta tiene como objetivo mejorar de manera sustancial la calidad de vida de los habitantes, promover el desarrollo económico sostenible y contribuir significativamente a la preservación y recuperación del entorno natural en Salcedo y sus alrededores (Quinteros, 2019).

4 OBJETIVOS:

4.1 Objetivo General

Optimizar el sistema de gestión de residuos del GAD Municipal de Salcedo mediante la implementación de un sistema dinámico en 2024, con el fin de mejorar la eficiencia en el manejo de desechos, reducir el impacto ambiental y elevar la calidad de vida de la comunidad.

4.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual del sistema de gestión de residuos en el Cantón Salcedo, identificando las principales deficiencias y áreas de oportunidad para su mejora.
- Desarrollar un plan integral basado en un sistema dinámico que incluya estrategias para la recolección, tratamiento y disposición final de los residuos, con un enfoque en la sostenibilidad ambiental y la eficiencia operativa.
- Implementar el nuevo sistema dinámico de gestión de residuos, midiendo su efectividad en la reducción de la contaminación, la mejora de la calidad de vida de los habitantes, y el fortalecimiento de las capacidades del GAD Municipal de Salcedo.

5 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

5.1. Actividad y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

Tabla 2 donde se describe los objetivos con las actividades a realizar para la investigación, tomando en cuenta metodologías para ordenar los resultados necesarios para lograr el objetivo de la investigación.

Tabla 2. *Objetivos planteados*

Objetivo	Actividad	Metodología	Resultado
----------	-----------	-------------	-----------

1. Diagnosticar la situación actual del sistema de gestión de residuos en el Cantón Salcedo.	Realizar un análisis exhaustivo del sistema actual de gestión de residuos, incluyendo encuestas a residentes y entrevistas con autoridades locales.	Informes de diagnóstico, encuestas, entrevistas y análisis de datos.	Línea base del SGIRS (Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos) en función del sistema dinámico.
2. Desarrollar un plan integral basado en un sistema dinámico para la gestión de residuos.	Diseñar un plan de mejora que incluya estrategias de recolección, tratamiento y disposición de residuos, y presentar propuestas a las partes interesadas.	Documentación del plan, simulaciones en el Software Vensim, y propuestas presentadas.	Diseño dinámico del SGIRS en el Software Vensim y propuestas de optimización.
3. Implementar y evaluar el impacto del nuevo sistema dinámico de gestión de residuos.	Ejecutar el plan de gestión de residuos y llevar a cabo una evaluación continua del sistema, incluyendo mediciones de impacto ambiental y encuestas de satisfacción.	Informes de evaluación, mediciones de impacto ambiental, encuestas de satisfacción, y datos de rendimiento del sistema.	Plan para mejorar la gestión de desechos del Cantón, con evaluación de impacto y mejora en la calidad de vida.

Fuente: Autor propio

6 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO, TÉCNICA

6.1 Antecedentes

Moreno, (2022), redactó un trabajo de investigación denominado "Propuesta de optimización del sistema de recolección de los residuos sólidos en la ciudad de Riobamba", en el cual expresa que la investigación buscó crear una propuesta técnica para mejorar el sistema de recolección de desechos sólidos urbanos (DSU) en Riobamba. Se recopiló información sobre horarios, áreas de recolección, capacidad de los vehículos, pesaje de desechos y número de contenedores. Con estos datos y usando Google Maps y ArcGIS, se generó un mapa inicial y se proyectaron variables como el crecimiento poblacional. Tras evaluar el sistema, se determinó que las siete rutas existentes eran inadecuadas, por lo que se diseñó una ruta adicional. Se propuso un sistema de

recolección mejorado y se recomendó adquirir un vehículo adicional y promover la clasificación de desechos desde el origen.

De igual forma León et al., (2021), redactaron un trabajo de investigación denominado "Optimización de la recolección de residuos sólidos urbanos bajo un enfoque de Sistemas de Información Geográfica, un estudio de caso", en el cual aducen que el presente análisis presenta una propuesta de trayectorias de recolección de desechos sólidos urbanos para el cantón de Ibarra, utilizando conceptos de delimitación territorial para balancear la carga de trabajo entre los camiones de recolección y asegurar el acceso de todos los habitantes al servicio de recolección. En esta propuesta se implementan 11 microrutas de recolección, teniendo en cuenta factores como tasas de generación de desechos, frecuencias de recolección y gastos operativos de los camiones. Para ello, se desarrolló una base de datos geográfica actualizada, que posteriormente se procesó en el Sistema de Información Geográfica Arc-GIS utilizando el enfoque de arcos capacitados. Los resultados obtenidos se comparan con el modelo actualmente vigente.

Adicional Aldas y Calero, (2024), realizaron un trabajo investigativo denominado "Modelo matemático de optimización basado en los objetivos ambientales para la industria de manufactura del Ecuador", en el cual mencionan que el objetivo de este estudio es seleccionar un modelo matemático de optimización que cumpla con los objetivos ambientales para la industria manufacturera de Ecuador, se utilizaron análisis bibliométrico y multicriterio para revisar la literatura existente, identificar tendencias y evaluar diversos modelos, los resultados proporcionan una herramienta útil para tomar decisiones en el sector manufacturero, promoviendo un desarrollo industrial más responsable en Ecuador.

Nieto y Guaman, (2021), redactó un trabajo de investigación denominado "Optimización en la gestión de los residuos sólidos domiciliarios en el área urbana del cantón la Mana",

En el cual menciona que la presente indagación se llevó a cabo con el objetivo de conocer la producción de consumo de cada hogar y con el propósito de incentivar a los residentes la clasificación de los desechos según su tipo de composición con la finalidad de reducir la contaminación ambiental. El estudio comienza con un diagnóstico del manejo actual de los desechos, el cual se realizó mediante la aplicación de encuestas,

entrevistas, observación directa, para conocer cuál es el estado actual de la gestión integral de los residuos sólidos, en el cual se aplicaron 378 encuestas a los residentes para conocer su percepción de la situación actual del cantón, para la determinación de las muestras se utilizaron ecuaciones donde se obtuvo un resultado de 75 hogares abarcando toda la zona urbana del cantón La Maná. Se tomaron muestras para la caracterización en los hogares de las familias, donde la producción per cápita diaria es de 7,13 kilogramos/persona/día y una generación per cápita de 0,30 kg por persona diaria en la zona urbana y una composición de 68,15% desechos orgánicos, 12,09% plásticos y 9,78% papel o cartón, provocando un impacto negativo al entorno.

De igual forma se encuentra el trabajo de Contreras et al., (2021), denominado "Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios", en el cual mencionan que este informe tiene como propósito exponer distintos aspectos sobre la administración de desechos sólidos domésticos de manera comprensible para quienes estén desempeñando labores vinculadas con estos elementos, especialmente en el ámbito público. El trabajo se subdivide en tres secciones. La primera se enfoca en elementos generales de la gestión integral de desechos sólidos domésticos; en ella se explican nociones y se abarcan temas relacionados con el plan de manejo. En la segunda sección se tratan asuntos relacionados con la ingeniería básica (opciones tecnológicas, métodos de cálculo y de disposición). Finalmente, se presentan dos capítulos de formulación y evaluación de proyectos, los cuales abarcan desde el ciclo de vida de los proyectos hasta la valoración social.

Adicional se encuentra el trabajo de investigación por parte de Moreno et al., (2021), denominado "Residuos sólidos en la ciudad de macas, Ecuador", en el cual mencionan que Los desechos sólidos urbanos en vertederos sanitarios causan significativos impactos ambientales, como la polución del suelo, aire y agua superficial y subterránea. El manejo de estos desechos ha representado un desafío debido, entre otras razones, a los grandes volúmenes producidos por los ciudadanos. Esta investigación bibliográfica tuvo como objetivo examinar la relevancia de una adecuada administración de los desechos en la ciudad de Macas a través de una investigación documental, basada en una revisión sistemática de fuentes primarias y secundarias. Las estrategias de búsqueda se fundamentaron en material proporcionado por Google Scholar, Redalyc, Scielo y Redib, que ofrecieron información relevante para el análisis. Se concluye que es

crucial la participación de la comunidad junto con las autoridades gubernamentales para establecer programas de educación ambiental y crear regulaciones que mejoren la gestión de los desechos sólidos desde su origen hasta su disposición final. Además, es esencial considerar que dentro de estos procesos participan personas dedicadas al reciclaje de desechos como actividad económica; por lo tanto, es necesario proporcionar capacitaciones continuas a este sector para mejorar sus condiciones laborales y prevenir problemas de salud.

5.2 Residuos sólidos

Segura et al., (2020), menciona que los residuos sólidos se definen como materiales, productos o sustancias que, tras haber sido utilizados, se convierten en desechos y ya no tienen utilidad para quienes los generaron. Estos residuos provienen de diversas actividades humanas, como el uso doméstico, la producción industrial, el comercio y la agricultura. Por lo tanto, abarcan una amplia gama de materiales y tipos de desechos, en primer lugar, los residuos sólidos se pueden clasificar en varias categorías, como los residuos domésticos, que incluyen desperdicios de alimentos, papel, cartón, plásticos, vidrios y metales generados en el hogar, estos residuos suelen ser heterogéneos y contienen tanto material reciclable como no reciclables.

Además, los residuos industriales se originan en los procesos de manufactura y producción y pueden ser peligrosos, como productos químicos y materiales tóxicos, o no peligrosos, como recortes de metal o plástico, por otro lado, los residuos comerciales se generan en establecimientos comerciales, como tiendas y restaurantes, y abarcan empaques, restos de alimentos y materiales de oficina. Asimismo, los residuos de construcción y demolición provienen de actividades de construcción, renovación y demolición, e incluyen escombros, madera, vidrio y metales, en cuanto a los residuos peligrosos, estos presentan riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente, incluyendo productos químicos, baterías, medicamentos vencidos y aceites usados. Por último, los residuos biodegradables son aquellos que se descomponen de manera natural por acción de microorganismos, como restos de alimentos y residuos vegetales (Saldaña & Valiente, 2023).

Por consiguiente, una gestión adecuada de los residuos sólidos es crucial para prevenir impactos negativos en la salud pública y el medio ambiente. La acumulación

inadecuada de estos residuos puede llevar a la contaminación del suelo, agua y aire, así como a la liberación de sustancias tóxicas y gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático (Saldaña & Valiente, 2023).

En consecuencia, la correcta gestión de residuos sólidos implica una serie de prácticas y procesos que incluyen la reducción, reutilización, reciclaje, tratamiento y disposición final de los residuos. Estas prácticas están reguladas por normativas y políticas diseñadas para proteger el medio ambiente y la salud humana, promoviendo la sostenibilidad y la preservación de los recursos naturales.

5.2.1 Clasificación de los residuos

Pacheco y Porras, (2021), mencionan que la clasificación de residuos es una práctica crucial en la gestión de desechos, que facilita su tratamiento y disposición adecuada. Esta clasificación permite abordar las diferentes características y propiedades de los residuos, optimizando así las estrategias de reciclaje, reducción y eliminación, y minimizando los impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública. Los residuos se dividen en varias categorías, cada una con necesidades y enfoques específicos para su manejo.

En primer lugar, los residuos domésticos son aquellos que se generan en los hogares y abarcan una amplia gama de materiales. Estos incluyen restos de alimentos, papel, cartón, plásticos, vidrios y metales. La clasificación de residuos domésticos es fundamental para promover el reciclaje y la reducción de desechos. Por ejemplo, los papeles y cartones pueden ser reciclados para fabricar nuevos productos, mientras que los plásticos y vidrios se separan para su procesamiento y reutilización. La separación de estos materiales en origen ayuda a reducir la cantidad de residuos que llegan a los vertederos y facilita el proceso de reciclaje, al tiempo que disminuye la contaminación del entorno.

A continuación, los residuos industriales se originan en las actividades de manufactura y producción. Esta categoría incluye una variedad de residuos que pueden ser peligrosos o no peligrosos. Los residuos industriales peligrosos comprenden productos químicos, solventes y materiales tóxicos que requieren un tratamiento y disposición especializada para evitar riesgos ambientales y para la salud humana. Por ejemplo, los desechos químicos deben ser tratados en instalaciones específicas que

cumplen con normas rigurosas para evitar la liberación de sustancias nocivas. Por otro lado, los residuos industriales no peligrosos, como los recortes de metal o plástico, pueden ser reciclados o reutilizados en nuevos procesos de producción, lo que contribuye a la eficiencia de los recursos y a la reducción de desechos (Perez & Rodríguez, 2022).

Los residuos comerciales son generados en establecimientos como tiendas, restaurantes y oficinas. Esta categoría incluye materiales como empaques, restos de alimentos, y residuos de oficina, como papel y cartón. La gestión de residuos comerciales suele implicar la separación y reciclaje de materiales para minimizar el impacto ambiental. Por ejemplo, los residuos de papel y cartón se pueden reciclar para fabricar nuevos productos, mientras que los restos de alimentos pueden ser compostados o gestionados mediante servicios de recolección especializados. Además, las empresas pueden implementar prácticas de reducción de residuos, como la minimización de empaques y la reutilización de materiales, para mejorar la sostenibilidad de sus operaciones (Perez & Rodríguez, 2022).

Los residuos de construcción y demolición provienen de actividades relacionadas con la construcción, renovación y demolición de edificios e infraestructuras. Este tipo de residuos incluye escombros, madera, vidrio, y metales, y su gestión es esencial para reducir el impacto ambiental de las actividades de construcción. Los residuos de construcción pueden ser reciclados o reutilizados en nuevos proyectos, como la utilización de escombros para rellenar terrenos o la reutilización de madera en proyectos de carpintería. La correcta gestión de estos residuos también implica la separación de materiales reciclables y la disposición adecuada de aquellos que no pueden ser reutilizados, contribuyendo a la reducción de la presión sobre los vertederos y la preservación de los recursos naturales (Perez & Rodríguez, 2022).

Los residuos peligrosos son aquellos que presentan riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente debido a sus propiedades tóxicas, corrosivas o inflamables. Esta categoría incluye productos químicos, baterías, medicamentos vencidos y aceites usados. El manejo de residuos peligrosos requiere procedimientos especiales para garantizar su tratamiento y eliminación segura. Por ejemplo, los productos químicos deben ser tratados en instalaciones especializadas que cumplen con regulaciones estrictas para evitar la liberación de contaminantes. Los aceites usados y las baterías deben ser gestionados de manera que se minimice el riesgo de contaminación del suelo y del agua.

La correcta gestión de estos residuos es crucial para prevenir daños ambientales y proteger la salud de las comunidades (Vargas, 2020).

Finalmente, los residuos biodegradables son aquellos que se descomponen naturalmente a través de la acción de microorganismos, como los restos de alimentos y residuos vegetales. La gestión de estos residuos puede incluir su compostaje, un proceso que convierte los desechos orgánicos en fertilizantes naturales que enriquecen el suelo. El compostaje no solo reduce la cantidad de residuos enviados a los vertederos, sino que también proporciona un recurso valioso para la agricultura y la jardinería. Además, la gestión adecuada de residuos biodegradables contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero, como el metano, que se produce en los vertederos cuando los residuos orgánicos se descomponen anaeróbicamente (Vargas, 2020).

En conclusión, la clasificación de residuos es un componente esencial en la gestión de desechos, ya que permite aplicar métodos específicos de tratamiento y disposición para cada tipo de residuo. La correcta clasificación y manejo de los residuos contribuye a la reducción del impacto ambiental, la conservación de los recursos naturales y la protección de la salud pública, promoviendo un entorno más sostenible y saludable para las comunidades.

5.2.1 Contaminación por residuos

La contaminación por residuos es un problema ambiental significativo que resulta de la inadecuada gestión y disposición de desechos sólidos. Cuando los residuos no se manejan adecuadamente, pueden provocar una serie de efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana. Esta contaminación puede manifestarse de diversas formas, afectando tanto a los ecosistemas como a las comunidades.

Solier y Crespo, (2021), aducen que la contaminación del suelo es una de las consecuencias más graves de una gestión deficiente de residuos. Los residuos sólidos, especialmente los residuos industriales y peligrosos, pueden liberar sustancias químicas tóxicas que se infiltran en el suelo. Estos contaminantes pueden alterar la composición química del suelo, afectando su fertilidad y su capacidad para sustentar la vida vegetal. A su vez, las plantas que crecen en suelos contaminados pueden acumular estos contaminantes, lo que puede afectar la cadena alimentaria al ingresar a los alimentos que consumen los seres humanos y los animales.

En segundo lugar, la contaminación del agua es otro impacto crítico. Los residuos sólidos que se descomponen en los vertederos pueden liberar lixiviados, que son líquidos contaminados que se forman cuando los desechos se descomponen. Estos lixiviados pueden filtrarse en las fuentes de agua subterránea y en cuerpos de agua superficiales, contaminando ríos, lagos y acuíferos. La presencia de contaminantes en el agua puede tener efectos perjudiciales para la vida acuática, alterando los ecosistemas acuáticos y poniendo en riesgo la salud de las personas que dependen de estas fuentes de agua para consumo, agricultura y recreación (Solier & Crespo, 2021).

Además, la contaminación del aire también puede derivarse de la gestión inadecuada de residuos. Los vertederos y la incineración de residuos pueden liberar gases nocivos como metano, dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles. El metano, en particular, es un potente gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático. Además, la quema de residuos, especialmente de plásticos y productos químicos, puede liberar humo y partículas finas que son perjudiciales para la salud respiratoria de las personas y los animales (Parpuezan & Revelo, 2023).

La contaminación por residuos también puede tener consecuencias sociales y económicas. Las comunidades cercanas a vertederos o instalaciones de tratamiento de residuos pueden experimentar problemas de salud relacionados con la exposición a contaminantes, como enfermedades respiratorias y problemas digestivos. Además, la presencia de residuos puede afectar la calidad de vida al reducir el valor estético y funcional de los espacios públicos y privados. Los costos asociados con la limpieza y remediación de áreas contaminadas pueden ser significativos, lo que afecta los recursos financieros disponibles para otras necesidades comunitarias (Parpuezan & Revelo, 2023).

5.2.1.1 Modelos de Gestión de Residuos

5.2.1.2. Modelos tradicionales de gestión de residuos

Los modelos tradicionales de gestión de residuos han sido fundamentales en el manejo de desechos a lo largo del tiempo, adoptando enfoques que han respondido a las crecientes necesidades de disposición de residuos. Entre estos enfoques, el modelo de vertederos ha sido uno de los más prevalentes. En este sistema, los residuos se acumulan en áreas designadas donde se entierran en el suelo. Aunque los vertederos permiten

manejar grandes volúmenes de desechos, presentan desafíos significativos. La acumulación de residuos puede llevar a la contaminación del suelo y del agua a través de los lixiviados, además de la liberación de gases de efecto invernadero como el metano. Estos problemas requieren una vigilancia continua y una gestión adecuada para mitigar sus efectos negativos (Espinoza, 2021).

En contraste, el modelo de incineración se basa en la quema de residuos en instalaciones especializadas. Este método reduce el volumen de desechos de manera considerable, lo que alivia la presión sobre los vertederos. Sin embargo, la incineración puede generar emisiones contaminantes y cenizas residuales que deben ser gestionadas con cuidado. A pesar de las tecnologías modernas que controlan las emisiones, la percepción pública sobre los riesgos ambientales de la incineración sigue siendo un obstáculo para su aceptación generalizada (Espinoza, 2021).

Otro enfoque relevante es el modelo de recolección y transporte, que se centra en la eficiencia del proceso de recolección de residuos desde diversos puntos de generación hasta las instalaciones de tratamiento o disposición. Este sistema asegura que los residuos sean recolectados de manera regular y transportados de forma segura. No obstante, la gestión de residuos bajo este modelo suele carecer de un enfoque en la reducción de residuos en la fuente o en la separación para reciclaje, lo que limita su capacidad para gestionar de manera integral los desechos (Barrera et al., 2021).

En el modelo de gestión de residuos no clasificados, todos los residuos se mezclan durante la recolección y se envían al mismo destino, ya sea un vertedero o una planta de incineración. Este enfoque simplificado reduce la eficiencia del reciclaje y puede aumentar el volumen de residuos destinados a vertederos o incineradoras, disminuyendo las oportunidades de reutilización y reciclaje. La falta de separación limita la capacidad de aprovechar los materiales reciclables y orgánicos (Barrera et al., 2021).

Finalmente, el modelo de minimización de residuos se enfoca en reducir la cantidad de desechos generados desde el principio. Aunque este enfoque no es tradicional en el sentido estricto, ha ganado relevancia en las prácticas de gestión de residuos modernas. Incluye estrategias como el diseño para reducir residuos, la promoción de productos reutilizables y la disminución del uso de empaques innecesarios. Implementar este modelo puede ser desafiante debido a los cambios necesarios en la producción y el

consumo, pero ofrece una solución eficaz para reducir el impacto ambiental global de los residuos (Barrera et al., 2021).

Es importante mencionar que mientras que los modelos tradicionales han sido cruciales para abordar la gestión de residuos a lo largo del tiempo, cada uno presenta limitaciones que han llevado al desarrollo de enfoques más integrales y sostenibles. Los modelos modernos buscan superar estos desafíos mediante la reducción en la fuente, el reciclaje y la reutilización, incorporando tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y minimizar los impactos ambientales.

5.2.1.3 Modelos de gestión integrada y sostenible

Los modelos de gestión integrada y sostenible representan una evolución significativa en la administración de residuos, abordando los desafíos ambientales y sociales que los modelos tradicionales a menudo no logran resolver de manera efectiva. Estos enfoques buscan no solo manejar los residuos de manera eficiente, sino también minimizar su generación y maximizar el valor de los materiales desechados a través de un ciclo continuo de reutilización y reciclaje (Davila, 2023).

Un modelo clave en la gestión integrada es el Sistema de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (SGRSU), que adopta una visión holística del manejo de residuos. Este modelo se basa en la jerarquía de gestión de residuos, que prioriza la reducción en la fuente, seguida de la reutilización, el reciclaje, la recuperación de energía y, por último, la disposición en vertederos o incineración. La implementación efectiva de este sistema requiere una planificación y coordinación exhaustivas entre las autoridades locales, los sectores industriales y la comunidad. Además, se enfoca en la integración de prácticas sostenibles en todas las etapas del ciclo de vida de los productos, desde su diseño hasta su disposición final (Davila, 2023).

El modelo de economía circular es otro enfoque prominente en la gestión sostenible de residuos. Este modelo busca cerrar el ciclo de vida de los productos mediante la promoción de la reutilización, reciclaje y reparación. En lugar de seguir un modelo lineal de "tomar, hacer, desechar", la economía circular pretende mantener los recursos en uso el mayor tiempo posible, extrayendo el máximo valor de ellos mientras están en uso, y luego recuperando y regenerando productos al final de cada ciclo de vida. Este enfoque no solo reduce la cantidad de residuos enviados a vertederos, sino que

también disminuye la necesidad de materias primas vírgenes, lo que contribuye a la sostenibilidad global.

El modelo de gestión basada en la participación comunitaria también juega un papel crucial en la gestión integrada de residuos. Este enfoque promueve la participación activa de los ciudadanos en la separación y disposición de sus residuos. Programas de educación y concientización son esenciales para fomentar hábitos de consumo responsable y reciclaje. Al involucrar a la comunidad, se pueden mejorar las tasas de reciclaje y reducir la cantidad de residuos no clasificados, ya que los residentes asumen una mayor responsabilidad en la gestión de sus desechos (Davila, 2023).

El modelo de gestión de residuos mediante tecnología avanzada incluye la integración de tecnologías innovadoras para mejorar la eficiencia y efectividad en la gestión de residuos. Tecnologías como el seguimiento inteligente de residuos, la automatización en la clasificación y el uso de sistemas de información geográfica (GIS) permiten una gestión más precisa y eficiente. Estas tecnologías facilitan la optimización de rutas de recolección, la monitorización en tiempo real de los niveles de residuos y la mejora en los procesos de reciclaje y compostaje (Velez & López, 2021).

Por último, el modelo de gestión integrada de residuos peligrosos se centra en la correcta disposición y tratamiento de residuos que presentan riesgos significativos para la salud y el medio ambiente. Este enfoque incluye la clasificación específica, el almacenamiento seguro, y la eliminación o tratamiento especializado de desechos peligrosos. Implementar este modelo asegura que los residuos tóxicos sean gestionados de manera que minimicen el riesgo de contaminación y protejan la salud pública (Velez & López, 2021).

Los modelos de gestión integrada y sostenible ofrecen un enfoque más completo y proactivo para manejar los residuos. Estos enfoques no solo buscan reducir la cantidad de desechos generados, sino también maximizar el valor de los materiales a través de prácticas de reutilización, reciclaje y participación comunitaria. La integración de tecnologías avanzadas y la gestión especializada de residuos peligrosos refuerzan estos modelos, contribuyendo a un sistema de gestión de residuos que es tanto eficiente como respetuoso con el medio ambiente.

5.2.1.4 Objetivos de la Gestión de Residuos

La gestión de residuos es un componente esencial para garantizar un desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. Este proceso abarca una serie de objetivos interrelacionados que buscan abordar el problema de los desechos desde múltiples ángulos, con el fin de mitigar su impacto ambiental y optimizar el uso de los recursos. A continuación, se detallan los principales objetivos de la gestión de residuos (Zamora & Carrillo, 2021).

En primer lugar, la reducción en la fuente se presenta como un objetivo primordial. Este enfoque se centra en la minimización de la cantidad de residuos generados en el origen, antes de que se conviertan en desechos. La reducción en la fuente implica adoptar medidas para diseñar productos y procesos que generen menos residuos desde el principio. Esto incluye la implementación de prácticas como la mejora en el diseño de productos para que sean más duraderos, la utilización de materiales menos contaminantes y la promoción de un consumo más consciente y responsable. Al reducir la cantidad de residuos generados, se disminuye la necesidad de tratamientos y disposiciones posteriores, lo que a su vez ayuda a preservar los recursos naturales y reducir la carga sobre los sistemas de gestión de residuos (Zamora & Carrillo, 2021).

En paralelo, otro objetivo fundamental es la reutilización de materiales y productos. La reutilización se basa en la idea de prolongar la vida útil de los bienes y materiales antes de que sean desechados. Este objetivo promueve la reparación, el reciclaje y la reutilización de artículos en lugar de desecharlos prematuramente. Al fomentar la reutilización, se disminuye la demanda de nuevos productos y se reducen los residuos que terminan en vertederos o incineradoras. Además, la reutilización contribuye a la reducción de la extracción de materias primas y la producción de nuevos productos, lo que a su vez disminuye la presión sobre los recursos naturales y minimiza el impacto ambiental asociado con la fabricación.

El reciclaje es otro objetivo clave en la gestión de residuos. Este proceso implica la recolección, separación y procesamiento de materiales reciclables para convertirlos en nuevos productos. El reciclaje no solo reduce la cantidad de residuos que se envían a los vertederos, sino que también disminuye la necesidad de materias primas vírgenes, lo que ayuda a conservar los recursos naturales y reduce el impacto ambiental de la extracción

y procesamiento de nuevos materiales. El reciclaje también puede generar beneficios económicos al crear empleos en la industria del reciclaje y al reducir los costos asociados con la gestión de residuos (Zamora & Carrillo, 2021).

La recuperación de energía es un objetivo adicional que se enfoca en aprovechar el potencial energético de los residuos. A través de tecnologías como la incineración con recuperación de energía o la digestión anaeróbica, los residuos pueden convertirse en formas de energía útiles, como electricidad o calor. Este enfoque permite reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y contribuye a la generación de energía sostenible. La recuperación de energía también puede ayudar a reducir la cantidad de residuos que se envían a los vertederos, al aprovechar el contenido energético de los desechos.

Finalmente, la disposición final de los residuos es el último objetivo en la jerarquía de gestión de residuos. Este objetivo se enfoca en el manejo adecuado de los desechos que no pueden ser reducidos, reutilizados o reciclados. La disposición final incluye métodos como el vertido en rellenos sanitarios y la incineración sin recuperación de energía. Aunque es la última opción en el proceso de gestión de residuos, la disposición final debe realizarse de manera segura y conforme a las normativas ambientales para minimizar su impacto en el entorno. La correcta disposición final asegura que los residuos se manejen de manera responsable y que se reduzca el riesgo de contaminación y daños al medio ambiente (Romero, 2022).

Los objetivos de la gestión de residuos abarcan una variedad de estrategias que buscan reducir la generación de desechos, maximizar la reutilización y el reciclaje, recuperar energía y garantizar una disposición final segura. Estos objetivos, interrelacionados y complementarios, contribuyen a un sistema de gestión de residuos más eficiente y sostenible, que busca minimizar el impacto ambiental y promover el uso responsable de los recursos (Romero, 2022).

6.1.1.5 Jerarquía de Residuos:

La jerarquía de residuos es un principio fundamental en la gestión de desechos, diseñado para promover prácticas más sostenibles y eficaces en el manejo de residuos. Este concepto establece un orden prioritario para las estrategias de gestión de residuos, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental y maximizar la eficiencia en el uso de

recursos. La jerarquía se basa en una serie de niveles que guían las decisiones sobre cómo manejar los residuos de manera que se reduzca su impacto ambiental en cada etapa del ciclo de vida (Hernandez, 2021).

En primer lugar, el nivel más alto de la jerarquía es la prevención o reducción en la fuente. Este enfoque se centra en evitar la generación de residuos desde el principio. La prevención implica adoptar medidas para diseñar productos y procesos que generen menos residuos, reducir el uso de materiales no necesarios y promover el consumo responsable. Por ejemplo, esto puede incluir la optimización del diseño de productos para que sean más duraderos y menos propensos a generar desechos, o la implementación de prácticas que minimicen el desperdicio en la producción y el consumo. La prevención es el método más eficaz para reducir la cantidad total de residuos y, por ende, la carga sobre los sistemas de gestión de desechos y el medio ambiente (Hernandez, 2021).

En segundo lugar, la reutilización es una estrategia clave en la jerarquía de residuos. La reutilización implica el uso de productos y materiales nuevamente antes de que sean descartados. Esto puede incluir la reparación de artículos dañados, la reventa de productos usados o la utilización de materiales reciclados en nuevos productos. Al reutilizar, se prolonga la vida útil de los bienes y se reduce la necesidad de fabricar nuevos productos, lo que disminuye la demanda de recursos naturales y minimiza los residuos generados. La reutilización es una forma efectiva de reducir el volumen de desechos y contribuir a la economía circular (Briones, 2020).

El siguiente nivel en la jerarquía es el reciclaje. El reciclaje se refiere al proceso de recolectar, separar y procesar materiales reciclables para convertirlos en nuevos productos. Este enfoque permite que los materiales que de otro modo serían desechados se transformen en recursos valiosos, reduciendo la necesidad de materias primas vírgenes y disminuyendo la presión sobre el medio ambiente. El reciclaje ayuda a conservar los recursos naturales, reducir la contaminación y minimizar la cantidad de residuos que se envían a los vertederos o se incineran. A través de la implementación efectiva de programas de reciclaje, se puede lograr una gestión más sostenible de los recursos y una reducción significativa del impacto ambiental de los residuos (Briones, 2020).

A continuación, la recuperación de energía es otro nivel importante en la jerarquía. Este enfoque consiste en convertir los residuos en formas de energía útil, como

electricidad o calor, mediante procesos como la incineración con recuperación de energía o la digestión anaeróbica. La recuperación de energía permite aprovechar el potencial energético de los desechos, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía no renovables y contribuyendo a la generación de energía sostenible. Este método también ayuda a reducir el volumen de residuos que se envían a los vertederos, al aprovechar el contenido energético de los desechos (Briones, 2020).

Finalmente, el último nivel de la jerarquía es la disposición final de los residuos. Este nivel se refiere al manejo de los desechos que no pueden ser prevenidos, reutilizados, reciclados o aprovechados para la recuperación de energía. La disposición final incluye métodos como el vertido en rellenos sanitarios o la incineración sin recuperación de energía. Aunque es la última opción en la jerarquía, la disposición final debe realizarse de manera segura y conforme a las regulaciones ambientales para minimizar su impacto en el entorno. La correcta gestión de la disposición final asegura que los residuos se manejen de manera responsable, reduciendo el riesgo de contaminación y daños al medio ambiente.

Figura 1. Jerarquía de residuos



Nota: La figura representa la jerarquía de residuos ,tomado de (Ecociencia, 2021)

6.1.1.6 Optimización de Sistemas de Gestión de Residuos

La optimización de sistemas de gestión de residuos es un proceso clave para mejorar la eficiencia, efectividad y sostenibilidad en el manejo de desechos. Este concepto se centra en la mejora continua de los sistemas existentes para lograr un manejo

de residuos más eficaz, reducir costos, minimizar impactos ambientales y mejorar la calidad de vida en las comunidades (Alvarez, 2023).

En primer lugar, la optimización de sistemas de gestión de residuos implica evaluar y analizar el sistema actual de gestión de residuos. Esto incluye una revisión detallada de los procesos de generación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos. La evaluación se basa en la recopilación de datos sobre las cantidades de residuos generados, las frecuencias de recolección, los tipos de residuos, y los costos asociados con cada etapa del proceso. Esta información es fundamental para identificar áreas de mejora y establecer un punto de partida para las acciones de optimización.

A continuación, identificar y aplicar mejores prácticas es esencial para la optimización del sistema. Esto puede implicar la implementación de tecnologías avanzadas para la recolección y tratamiento de residuos, la mejora en los métodos de separación y clasificación, y la adopción de estrategias de reciclaje más eficientes. La optimización también puede involucrar la reestructuración de rutas de recolección para reducir costos operativos y emisiones de carbono, o la mejora de la logística para asegurar un manejo más eficiente de los residuos. Integrar mejores prácticas y tecnologías puede llevar a una reducción significativa en la cantidad de residuos enviados a vertederos y aumentar la cantidad de materiales reciclados o recuperados (Alvarez, 2023).

Además, la integración de sistemas dinámicos es una estrategia clave en la optimización de la gestión de residuos. Los sistemas dinámicos permiten modelar y simular diferentes escenarios de gestión de residuos, ayudando a prever los resultados de diversas estrategias antes de su implementación. Mediante el uso de herramientas como el análisis de sistemas dinámicos, los gestores pueden evaluar el impacto de cambios en las políticas, las prácticas de recolección, y las inversiones en infraestructura, lo que facilita la toma de decisiones informadas y basadas en datos.

Otro aspecto importante de la optimización es la participación y educación comunitaria. Involucrar a la comunidad en las iniciativas de gestión de residuos puede mejorar la eficacia del sistema. Las campañas de educación y sensibilización fomentan la reducción de residuos en la fuente, promueven la correcta separación y reciclaje de materiales, y aumentan la cooperación de los ciudadanos con los servicios de gestión de

residuos. La participación activa de la comunidad contribuye a lograr objetivos de sostenibilidad y mejora el rendimiento general del sistema de gestión de residuos (Alvarez, 2023).

Finalmente, la monitorización y evaluación continua son cruciales para la optimización. Implementar un sistema de seguimiento que permita evaluar regularmente el desempeño del sistema de gestión de residuos asegura que las mejoras se mantengan y se ajusten según sea necesario. La recolección de datos periódicos sobre la cantidad y tipo de residuos, la eficiencia de los procesos y los costos asociados permite realizar ajustes y mejoras continuas, adaptándose a cambios en la generación de residuos y en las necesidades de la comunidad.

5.3 Principios y técnicas de optimización en la gestión de residuos

La optimización en la gestión de residuos se fundamenta en una serie de principios y técnicas que buscan mejorar la eficiencia y sostenibilidad del manejo de desechos. Estos principios y técnicas están diseñados para reducir la cantidad de residuos generados, mejorar los procesos de recolección, tratamiento y disposición, y minimizar los impactos ambientales.

En primer lugar, uno de los principios fundamentales es la jerarquía de residuos. Este enfoque establece un orden prioritario para el manejo de los desechos, comenzando con la reducción en la fuente como el método más deseable. La reducción en la fuente busca evitar la generación de residuos mediante la modificación de procesos y la elección de productos más sostenibles. A continuación, se encuentra la reutilización, que implica utilizar los productos o materiales de nuevo para el mismo fin o para otros usos, lo que ayuda a prolongar la vida útil de los recursos. El reciclaje sigue en la jerarquía, donde los materiales desechados se procesan para convertirlos en nuevos productos. La valorización energética, que convierte residuos en energía, es una opción cuando los residuos no pueden ser reutilizados o reciclados. Finalmente, la disposición en vertederos es el último recurso, reservado para aquellos residuos que no tienen otra alternativa de manejo.

Además de la jerarquía de residuos, el principio de minimización de residuos juega un papel crucial en la optimización. La minimización se enfoca en reducir tanto la cantidad como la toxicidad de los residuos generados. Esto se puede lograr mediante la

modificación de los procesos de producción, la sustitución de materiales peligrosos por opciones menos dañinas y la promoción de prácticas de consumo responsable. De este modo, se evita la generación de residuos desde su origen.

Otro principio relevante es la responsabilidad extendida del productor (EPR). Este principio asigna a los productores la responsabilidad de la gestión de los residuos generados por sus productos al final de su vida útil. Implementar sistemas de EPR permite que los productores asuman un rol activo en la implementación de programas de reciclaje y recuperación, contribuyendo así a una gestión de residuos más sostenible.

5.3.1 Técnicas de Optimización en la Gestión de Residuos

En cuanto a las técnicas de optimización, la optimización de rutas de recolección es fundamental. Esta técnica busca reducir el costo y la huella de carbono asociada con el transporte de residuos. Para lograr esto, se emplean software especializados que calculan las rutas más eficientes y ajustan los horarios de recolección en función de la demanda y la ubicación de los contenedores. Mediante la optimización de rutas, se logra una gestión más eficiente del transporte de residuos, reduciendo costos y emisiones (Blanco, 2022).

La tecnología de separación y clasificación es otra técnica crucial en la optimización de la gestión de residuos. La implementación de tecnologías avanzadas, como sistemas automatizados de separación y clasificación, mejora significativamente la eficiencia del reciclaje. Estos sistemas, que incluyen clasificadores ópticos y cintas transportadoras, facilitan la separación de materiales reciclables de los no reciclables, aumentando la tasa de recuperación de recursos valiosos (Blanco, 2022).

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una técnica que evalúa el impacto ambiental de un producto a lo largo de toda su vida útil, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Utilizar el ACV permite identificar oportunidades para reducir el impacto ambiental en cada etapa del ciclo de vida del producto y optimizar la gestión de residuos. De esta forma, se pueden tomar decisiones más informadas y sostenibles.

Los sistemas de información geográfica (SIG) también juegan un papel importante en la optimización de la gestión de residuos. Los SIG se utilizan para mapear y analizar datos relacionados con la gestión de residuos, como la ubicación de puntos de recolección, centros de tratamiento y vertederos. Estos sistemas proporcionan datos

geoespaciales precisos que facilitan la planificación y la toma de decisiones, permitiendo una gestión más efectiva y eficiente (Blanco, 2022).

Finalmente, la educación y sensibilización de la comunidad son técnicas esenciales para mejorar la participación en la gestión de residuos. Programas educativos que informan a los ciudadanos sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar fomentan prácticas más responsables y aumentan la efectividad de los sistemas de gestión de residuos. A través de la sensibilización, se promueve un cambio en los hábitos de consumo y manejo de residuos, lo que contribuye a una gestión más eficiente y sostenible.

5.3.2 Uso de modelos matemáticos y simulaciones para la optimización de la gestión de residuos.

El uso de modelos matemáticos y simulaciones se ha convertido en una herramienta esencial para la optimización de la gestión de residuos. Estas herramientas permiten analizar, prever y mejorar los procesos asociados con la recolección, tratamiento y disposición de desechos, con el objetivo de aumentar la eficiencia y reducir los costos y el impacto ambiental (Acurio & Andrango, 2021).

Primero, los modelos matemáticos se emplean para representar y analizar sistemas complejos de gestión de residuos. Estos modelos permiten formular y resolver problemas mediante técnicas cuantitativas que abarcan diversas áreas, como la logística, el tratamiento de residuos y la planificación de recursos. Un tipo común de modelo matemático es el modelo de programación lineal, que se utiliza para optimizar el uso de recursos en función de diversas restricciones, como costos, capacidades de tratamiento y necesidades de recolección. Este tipo de modelo ayuda a determinar las cantidades óptimas de residuos a tratar, el número ideal de camiones necesarios y las rutas de recolección más eficientes (Acurio & Andrango, 2021).

En segundo lugar, los modelos de optimización combinatoria se utilizan para resolver problemas en los que se deben tomar decisiones sobre la asignación de recursos o la selección de opciones entre un conjunto limitado de alternativas. Por ejemplo, los modelos de asignación de vehículos permiten optimizar la distribución de camiones en diferentes rutas de recolección para minimizar los costos operativos y maximizar la cobertura del servicio.

Además, los modelos estocásticos incorporan la incertidumbre en sus cálculos. Estos modelos son especialmente útiles cuando se enfrentan variaciones en la generación de residuos, fluctuaciones en la demanda de recolección o incertidumbres en los costos operativos. Al utilizar técnicas de simulación estocástica, los gestores pueden prever cómo los cambios en los parámetros del sistema afectan el rendimiento y ajustar las estrategias en consecuencia (Acurio & Andrango, 2021).

Por otro lado, las simulaciones proporcionan una forma de experimentar con diferentes escenarios y estrategias sin la necesidad de implementarlas en el mundo real. Las simulaciones permiten a los gestores de residuos probar diversos enfoques y observar los resultados en un entorno controlado. Esto es particularmente útil para evaluar el impacto de nuevas políticas, tecnologías o cambios en los procesos sin arriesgar recursos reales.

Las simulaciones basadas en agentes modelan el comportamiento de diversos actores dentro del sistema de gestión de residuos, como los ciudadanos, los operadores de camiones y los centros de tratamiento. Al simular las interacciones entre estos agentes, se pueden identificar patrones y prever cómo diferentes comportamientos y decisiones afectan la eficiencia global del sistema (Pinto & Gonzalez, 2022).

Asimismo, las simulaciones de dinámica de sistemas permiten analizar cómo las variables y procesos interactúan a lo largo del tiempo. Estos modelos ayudan a comprender la evolución del sistema bajo diferentes condiciones y a evaluar el efecto de intervenciones específicas, como cambios en la frecuencia de recolección o la introducción de nuevas tecnologías de tratamiento.

La aplicación de modelos matemáticos y simulaciones en la gestión de residuos ofrece numerosos beneficios. En primer lugar, estos enfoques permiten una toma de decisiones informada basada en datos y previsiones precisas. Al simular diferentes escenarios, los gestores pueden identificar las estrategias más efectivas y evitar soluciones costosas o ineficaces (Pinto & Gonzalez, 2022).

En segundo lugar, la optimización de recursos es una ventaja clave. Los modelos matemáticos y las simulaciones permiten una planificación más eficiente de los recursos, como el personal, los vehículos y los equipos de tratamiento. Esto se traduce en una reducción de costos operativos y una mejora en la eficiencia de las operaciones.

Finalmente, el uso de estas herramientas facilita una gestión proactiva y adaptable del sistema de residuos. Al prever posibles problemas y evaluar el impacto de diferentes decisiones antes de su implementación, se pueden optimizar los procesos y mejorar continuamente la sostenibilidad y efectividad del sistema de gestión de residuos.

5.3.3 Métodos de evaluación de la eficiencia en sistemas de gestión de residuos

La evaluación de la eficiencia en los sistemas de gestión de residuos es fundamental para garantizar que los procesos de recolección, tratamiento y disposición de desechos sean efectivos y sostenibles. Para lograr una evaluación integral, se emplean diversos métodos que permiten analizar el rendimiento del sistema desde diferentes perspectivas. Estos métodos ayudan a identificar áreas de mejora y a optimizar la gestión de residuos.

En primer lugar, uno de los métodos más comunes es el análisis de indicadores clave de rendimiento (KPI). Los KPI proporcionan métricas cuantitativas que reflejan el desempeño de distintos aspectos del sistema de gestión de residuos. Entre los indicadores más utilizados se encuentran la tasa de reciclaje, que mide el porcentaje de residuos reciclados en comparación con la cantidad total de desechos generados, y el costo por tonelada de residuos tratados, que evalúa la eficiencia económica del proceso. Estos indicadores permiten a los gestores identificar rápidamente áreas de alta eficiencia y aquellas que requieren ajustes (Moreno y Freire, 2021).

En segundo lugar, el análisis de eficiencia operativa se enfoca en la evaluación de los recursos utilizados en el proceso de gestión de residuos. Este análisis incluye la revisión de la capacidad de recolección de vehículos, la frecuencia de recolección y la utilización de personal. Mediante este enfoque, se pueden identificar oportunidades para reducir costos operativos y mejorar la eficiencia en la distribución de recursos. Por ejemplo, si se detecta que algunos vehículos están operando a menos de su capacidad máxima, se pueden ajustar las rutas o la frecuencia de recolección para optimizar el uso de estos recursos (Moreno y Freire, 2021).

Otro método relevante es el análisis de impacto ambiental. Este enfoque evalúa cómo las actividades de gestión de residuos afectan al medio ambiente. Se consideran factores como la emisión de gases de efecto invernadero generada durante el proceso de

tratamiento y la contaminación del suelo y del agua asociada con la disposición de residuos. Evaluar el impacto ambiental permite identificar prácticas que pueden ser ajustadas para minimizar la huella ecológica del sistema de gestión de residuos.

Asimismo, el análisis costo-beneficio proporciona una evaluación económica detallada de las operaciones del sistema de gestión de residuos. Este método compara los costos asociados con la implementación de diversas estrategias y tecnologías con los beneficios obtenidos, como la reducción en la cantidad de residuos enviados a vertederos o la generación de ingresos a partir del reciclaje. El análisis costo-beneficio ayuda a determinar la viabilidad económica de diferentes opciones y a tomar decisiones informadas sobre inversiones en infraestructura y tecnologías (Moreno y Freire, 2021).

Por último, la evaluación comparativa o benchmarking permite comparar el desempeño del sistema de gestión de residuos con los estándares y prácticas de otras organizaciones o municipios. Este método proporciona una perspectiva externa sobre el rendimiento del sistema y puede identificar mejores prácticas y áreas de mejora basadas en la experiencia de otros.

5.4 Sistemas Dinámicos en la Gestión de Residuos

La gestión de residuos representa un desafío multifacético que involucra la coordinación de diversas actividades y recursos para manejar eficientemente los residuos generados. La complejidad inherente a estos sistemas requiere enfoques avanzados para abordar las interacciones dinámicas y las variaciones en los flujos de residuos. En este contexto, los sistemas dinámicos ofrecen una herramienta esencial para la modelización y optimización de los sistemas de gestión de residuos (Rosero, 2023).

En primer lugar, los sistemas dinámicos se fundamentan en la teoría de sistemas complejos y el uso de modelos matemáticos para representar las relaciones y procesos dentro de un sistema de gestión de residuos. Estos modelos permiten capturar la interacción entre diferentes componentes, como la generación de residuos, la recolección, el transporte, el tratamiento y la disposición final. A través de la creación de representaciones matemáticas de estos procesos, se obtiene una visión integrada que facilita la comprensión de cómo las variaciones en un componente afectan a los demás.

Esta perspectiva es crucial para diseñar estrategias que aborden de manera efectiva las necesidades cambiantes del sistema de gestión de residuos.

Además, los modelos dinámicos permiten realizar simulaciones que ayudan a evaluar distintos escenarios y estrategias de gestión. Por ejemplo, se pueden modelar los efectos de cambios en la frecuencia de recolección, la introducción de nuevas tecnologías o la implementación de políticas de reducción de residuos. Estas simulaciones proporcionan una herramienta poderosa para prever las consecuencias de diferentes acciones y ajustar las estrategias en función de los resultados esperados. Este enfoque permite a los gestores del sistema anticipar problemas potenciales y optimizar la eficiencia operativa, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental (Rosero, 2023).

Un aspecto fundamental de los sistemas dinámicos es su capacidad para manejar retroalimentaciones y efectos acumulativos. En los sistemas de gestión de residuos, las acciones en una parte del sistema pueden tener efectos secundarios que influyen en otras partes. Por ejemplo, una mejora en la eficiencia de la recolección puede reducir la carga en los sitios de disposición final, afectando así la demanda de servicios de tratamiento. Los modelos dinámicos son capaces de capturar estas interacciones complejas y entender cómo los cambios en un área pueden amplificar o atenuar los resultados en otras áreas. Esta capacidad para representar la retroalimentación es esencial para desarrollar estrategias de gestión que sean efectivas a largo plazo.

Además, los sistemas dinámicos permiten la optimización continua del sistema de gestión de residuos. La capacidad de simular diferentes estrategias y evaluar su impacto a lo largo del tiempo proporciona a los gestores la oportunidad de realizar ajustes precisos y oportunos. Por ejemplo, si una simulación revela que una estrategia particular no está logrando los resultados deseados, se pueden realizar modificaciones y reevaluar su desempeño. Esta capacidad de ajuste dinámico es crucial para adaptarse a cambios en la generación de residuos, la normativa y otras variables que afectan el sistema (Rosero, 2023).

Un factor clave en la implementación efectiva de sistemas dinámicos es la recopilación y análisis de datos precisos. La calidad de los modelos y las simulaciones depende en gran medida de la precisión y relevancia de los datos utilizados. Por lo tanto,

es esencial contar con datos actualizados sobre la generación de residuos, las operaciones de recolección y tratamiento, y otros aspectos relevantes del sistema. La integración de datos en tiempo real y la actualización continua de los modelos permiten una gestión más precisa y adaptativa.

Los sistemas dinámicos proporcionan un enfoque avanzado para la gestión de residuos al ofrecer una comprensión integral de las interacciones y efectos en el sistema. Mediante la modelización y simulación, estos sistemas permiten anticipar problemas, evaluar estrategias y realizar ajustes continuos, facilitando una gestión de residuos más eficiente y sostenible, la aplicación de modelos dinámicos es esencial para enfrentar los desafíos complejos y en constante evolución de la gestión de residuos, permitiendo una respuesta adaptativa y eficaz a las necesidades del sistema.

5.4.1 Disposición final de residuos

La disposición final de residuos es una etapa crucial en el manejo integral de los desechos, representando el último eslabón en la cadena de gestión de residuos. Este proceso se refiere al manejo y tratamiento de los residuos que no pueden ser reciclados ni reutilizados, y que deben ser eliminados de manera segura y eficiente. En primer lugar, es fundamental comprender que la disposición final de residuos debe ser realizada de acuerdo con normativas ambientales estrictas para minimizar los impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública (Huancoto, 2021).

Para iniciar, la disposición final abarca diversos métodos y tecnologías, cada uno con sus ventajas y desventajas. Los vertederos son uno de los métodos más comunes y tradicionales. Estos son áreas especialmente diseñadas para recibir y almacenar residuos sólidos de manera controlada. Sin embargo, la operación de vertederos implica desafíos significativos, como la gestión de lixiviados y la emisión de gases de efecto invernadero, que deben ser cuidadosamente controlados para evitar daños ambientales. Los vertederos deben ser diseñados con sistemas de impermeabilización y drenaje para manejar los líquidos que se generan, y con sistemas de captura de gases para mitigar su impacto.

En contraste, la incineración es otro método de disposición final que implica la quema de residuos a altas temperaturas. Este proceso reduce el volumen de los residuos y puede generar energía a partir de la combustión. Sin embargo, la incineración también plantea desafíos, como la gestión de cenizas residuales y la necesidad de controlar las

emisiones atmosféricas para evitar la liberación de contaminantes peligrosos. La tecnología de incineración ha avanzado para incluir sistemas de filtrado y monitoreo que reducen estos riesgos, pero sigue siendo un tema de debate en términos de sostenibilidad y salud pública (Huancoto, 2021).

Otro método emergente en la disposición final es la digestión anaeróbica, que implica la descomposición biológica de residuos orgánicos en ausencia de oxígeno para producir biogás y digestato. Este proceso no solo reduce el volumen de residuos, sino que también genera energía renovable y un subproducto que puede ser utilizado como fertilizante. La digestión anaeróbica se está convirtiendo en una alternativa cada vez más popular debido a sus beneficios ambientales, pero requiere inversiones iniciales en infraestructura y tecnología (Macha, 2023).

En cuanto a el compostaje, este método se enfoca en la conversión de residuos orgánicos en compost mediante un proceso biológico controlado. El compostaje es especialmente efectivo para residuos de jardinería y alimentos, transformándolos en un producto útil que mejora la calidad del suelo. Aunque no se trata de un método de disposición final en el sentido estricto, ya que los residuos se convierten en un recurso valioso, el compostaje desempeña un papel importante en la reducción de la cantidad de residuos que necesitan ser eliminados por otros medios.

Es esencial que la elección del método de disposición final se base en un análisis exhaustivo de factores como el tipo de residuos, las características locales, y las capacidades tecnológicas disponibles. Cada método tiene implicaciones económicas, ambientales y sociales que deben ser cuidadosamente evaluadas para determinar la solución más adecuada. Además, la integración de la disposición final con estrategias de reducción, reutilización y reciclaje es crucial para una gestión de residuos sostenible (Macha, 2023).

En conclusión, la disposición final de residuos es una etapa crítica en el manejo de desechos que requiere una planificación y gestión cuidadosa para minimizar los impactos ambientales y maximizar la eficiencia. A través de la selección adecuada de métodos y la implementación de tecnologías avanzadas, es posible gestionar los residuos de manera que se proteja la salud pública y se preserven los recursos naturales, contribuyendo a un sistema de gestión de residuos más integral y sostenible.

5.4.2 Aplicación de la Jerarquía de Residuos

La jerarquía de residuos proporciona un enfoque estructurado y estratégico para la gestión de desechos, orientado a minimizar el impacto ambiental y promover una utilización más eficiente de los recursos. Este principio clasifica las acciones a seguir en diferentes niveles de prioridad, cada uno con su propio conjunto de estrategias y beneficios, y ofrece un marco integral para abordar la gestión de residuos desde su origen hasta su disposición final. A continuación, se amplía la aplicación práctica de cada nivel de la jerarquía.

5.4.3 Prevención de Residuos

La prevención de residuos se encuentra en la cúspide de la jerarquía, y representa la estrategia más efectiva para reducir el impacto ambiental de los desechos. La prevención implica evitar la generación de residuos desde el principio, enfocándose en modificar los procesos de producción y consumo para disminuir la cantidad de desechos creados. Esto se puede lograr mediante varias prácticas. En el diseño de productos, se busca crear bienes que utilicen menos materiales y sean más duraderos. El eco-diseño, por ejemplo, integra principios de sostenibilidad en la fase de desarrollo del producto, minimizando el uso de materiales nocivos y optimizando la eficiencia de los recursos (Izquierdo, 2023).

A nivel de consumo, fomentar prácticas responsables también juega un papel crucial. La promoción de hábitos de compra conscientes, como elegir productos con empaques reducidos o optar por bienes a granel, contribuye a evitar la generación de residuos innecesarios. En el ámbito industrial, la implementación de técnicas de producción limpia y la mejora de procesos para minimizar los subproductos y residuos también son medidas efectivas de prevención.

5.3.2.2 Reutilización

La reutilización, el siguiente nivel en la jerarquía, se centra en alargar la vida útil de productos y materiales, reduciendo así la necesidad de nuevos recursos. Esta estrategia promueve la reparación, el reuso y la renovación de productos que aún están en condiciones adecuadas para su uso. Por ejemplo, en lugar de desechar un electrodoméstico averiado, se puede optar por repararlo, lo que no solo evita la generación

de residuos, sino que también puede ser más económico que la compra de un reemplazo nuevo (Izquierdo, 2023).

La reutilización también incluye prácticas como el uso de envases retornables o reutilizables, que disminuyen la necesidad de empaques desechables. Los programas de devolución y recompra, así como las tiendas de segunda mano, son ejemplos de cómo se puede fomentar la reutilización en diferentes contextos. Además, en la construcción, el uso de materiales reciclados y la reutilización de componentes de edificios demolidos son prácticas que contribuyen a la sostenibilidad y a la reducción de residuos.

5.4.4 Reciclaje

El reciclaje ocupa un lugar clave en la jerarquía de residuos, abordando aquellos materiales que no se pueden prevenir ni reutilizar. El proceso de reciclaje convierte los residuos en nuevos materiales o productos, recuperando recursos valiosos y reduciendo la necesidad de materias primas vírgenes. Este nivel implica la separación y clasificación de residuos para su procesamiento adecuado, un paso esencial para asegurar que los materiales reciclables sean recuperados de manera eficiente (Dies, 2021).

El reciclaje se lleva a cabo mediante diversas técnicas, dependiendo del tipo de material. Por ejemplo, el reciclaje de papel y cartón implica su descomposición y reconfiguración en nuevos productos, mientras que los plásticos se transforman en pellets que pueden ser usados en la fabricación de nuevos artículos. En el caso de metales y vidrio, estos se funden y se reforman en nuevos productos. La implementación de sistemas de reciclaje en comunidades y la educación sobre la separación de residuos son cruciales para mejorar la tasa de reciclaje y la eficiencia del proceso.

5.4.4.1 Valoración energética

La valorización energética, situada después del reciclaje en la jerarquía, se refiere a la conversión de residuos en energía a través de procesos como la incineración. Aunque este nivel es menos preferible en comparación con la prevención, reutilización y reciclaje, desempeña un papel importante al reducir el volumen de residuos que llegan a los vertederos. La valorización energética puede generar electricidad o calor, proporcionando una fuente alternativa de energía (Dies, 2021).

Es importante destacar que la valorización energética debe llevarse a cabo utilizando tecnologías avanzadas que minimicen las emisiones de contaminantes y los impactos negativos en el medio ambiente. La incineración moderna, por ejemplo, está equipada con sistemas de control de emisiones que reducen la liberación de sustancias tóxicas. La implementación de prácticas adecuadas en la valorización energética ayuda a garantizar que este proceso sea una opción viable y sostenible en la gestión de residuos.

La disposición final de residuos es el último recurso en la jerarquía y se ocupa de aquellos desechos que no pueden ser gestionados mediante las estrategias anteriores. Este nivel incluye métodos como el depósito en vertederos y la incineración. La disposición en vertederos, aunque necesaria, debe ser manejada con sumo cuidado para prevenir problemas ambientales como la contaminación del suelo y del agua. Los vertederos modernos están diseñados con sistemas de impermeabilización y captura de lixiviados para mitigar estos riesgos.

Por otro lado, la incineración, cuando se emplea como método de disposición final, debe estar regulada para asegurar que se realice de manera segura y con mínima liberación de contaminantes. La disposición final se considera una opción menos favorable debido a su impacto ambiental comparado con la prevención, reutilización y reciclaje. Sin embargo, en situaciones donde otros métodos no son viables, la disposición final sigue siendo una parte esencial del sistema de gestión de residuos (Dies, 2021).

En conclusión, la aplicación de la jerarquía de residuos proporciona un marco integral para la gestión eficiente de desechos, priorizando las estrategias más sostenibles y responsables. Este enfoque no solo contribuye a la reducción del impacto ambiental, sino que también promueve prácticas de economía circular y un uso más consciente de los recursos.

5.5 Estrategias para la Reducción de Residuos:

La reducción de residuos es una estrategia crucial para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia en la gestión de desechos. Implementar tácticas eficaces para reducir la generación de residuos no solo disminuye la carga sobre los sistemas de gestión de residuos, sino que también puede aportar beneficios económicos, ambientales y sociales. A continuación, se desarrollan diversas estrategias para la reducción de residuos,

destacando cómo cada una contribuye a una gestión más sostenible y eficiente (Hinojoza, 2024).

5.5.1 Diseño para la Reducción de Residuos

El primer paso crucial en la reducción de residuos es el diseño para la minimización de desechos. Este enfoque implica incorporar principios de sostenibilidad en la fase de diseño de productos y embalajes, con el objetivo de generar menos residuos durante el ciclo de vida del producto. La filosofía del diseño para la reducción abarca la selección de materiales más sostenibles y la minimización del uso de empaques innecesarios. Por ejemplo, los diseñadores pueden optar por utilizar empaques reducidos o, preferiblemente, reutilizables, que generen menos desechos al final de la vida útil del producto (Hinojoza, 2024).

Además, el diseño modular y reparable es una técnica relevante en este contexto. Los productos diseñados para facilitar su reparación y reciclaje contribuyen a prolongar su vida útil y a reducir la necesidad de desecharlos cuando presentan fallos. Esto implica que los componentes de los productos sean fácilmente desmontables, lo cual no solo facilita las reparaciones sino también el reciclaje de partes específicas.

5.5.2 Promoción de la Economía Circular

La economía circular es un modelo que contrasta con el enfoque lineal tradicional de "tomar, hacer, desechar". En lugar de desechar productos al final de su vida útil, la economía circular promueve la reutilización, reparación, reciclaje y recuperación de materiales. Este modelo se basa en mantener los productos, componentes y materiales en circulación el mayor tiempo posible, maximizando su valor y reduciendo la generación de residuos.

Las estrategias para fomentar la economía circular incluyen el establecimiento de sistemas de retorno y recompra, donde los consumidores pueden devolver productos usados para su reparación o reciclaje. Asimismo, incentivar a las empresas a utilizar materiales reciclados en sus procesos de producción contribuye a cerrar el ciclo de materiales y reducir la dependencia de recursos vírgenes. Esta aproximación no solo minimiza los residuos, sino que también disminuye la demanda de nuevos materiales, lo que tiene beneficios ambientales adicionales (Hinojoza, 2024).

5.5.3 Reducción del Consumo

Una estrategia fundamental para la reducción de residuos es la promoción de prácticas de consumo responsable. Esto implica educar a los consumidores sobre cómo tomar decisiones que minimicen la generación de desechos. Prácticas como la compra a granel y el uso de envases reutilizables pueden tener un impacto significativo en la reducción de residuos. La reducción del consumo también se puede fomentar a través de la elección de productos duraderos y de alta calidad que no necesiten ser reemplazados con frecuencia.

La sensibilización y educación del consumidor juegan un papel clave en esta estrategia. Las campañas de marketing y la información accesible pueden ayudar a los consumidores a comprender los beneficios de reducir el consumo y optar por alternativas más sostenibles. Al adoptar hábitos de consumo conscientes, los individuos pueden contribuir considerablemente a la reducción de residuos a nivel personal y comunitario (López, 2023).

5.5.4 Implementación de Programas de Reducción de Residuos en Empresas

Las empresas tienen una gran responsabilidad y oportunidad para reducir los residuos generados en sus operaciones. La implementación de programas internos de reducción de residuos puede incluir la optimización de procesos de producción para minimizar el desperdicio de materiales, la reducción del uso de papel mediante la digitalización de documentos y la promoción de la eficiencia en el uso de recursos.

Un aspecto clave en estos programas es la medición continua y el seguimiento del progreso hacia los objetivos de reducción de residuos. Las empresas pueden establecer metas claras y monitorizar indicadores de rendimiento para evaluar su efectividad. Además, colaborar con proveedores para obtener materiales más sostenibles y educar a los empleados sobre prácticas de reducción de residuos son componentes importantes de una estrategia empresarial efectiva (López, 2023).

5.5.5 Políticas y Regulaciones Gubernamentales

Las políticas y regulaciones gubernamentales juegan un papel crucial en la gestión de residuos, ya que establecen el marco legal y los estándares necesarios para guiar y controlar la manera en que se manejan los desechos. Estas normativas buscan asegurar la

protección del medio ambiente, la salud pública y promover prácticas sostenibles en la gestión de residuos. A continuación, se desarrollan varios aspectos clave relacionados con las políticas y regulaciones gubernamentales en este ámbito.

Una de las áreas fundamentales de las políticas gubernamentales en la gestión de residuos es la regulación del diseño y la producción de productos. Estas normativas están diseñadas para reducir la generación de residuos desde el punto de origen, incentivando a los fabricantes a adoptar prácticas de diseño ecológico y a utilizar materiales reciclables y menos perjudiciales. Las regulaciones pueden incluir requisitos para el uso de empaques reciclables, la reducción de sustancias tóxicas en los productos y la promoción de la durabilidad y reparabilidad de los productos (Rodríguez L. , 2023).

Por ejemplo, algunas legislaciones imponen restricciones sobre el uso de ciertos materiales en productos de consumo, como plásticos de un solo uso, y fomentan la implementación de alternativas más sostenibles. Estas políticas buscan minimizar el impacto ambiental de los productos y facilitar su reciclaje al final de su vida útil.

La Responsabilidad Extendida del Productor es un principio clave en la gestión de residuos que obliga a los fabricantes a asumir la responsabilidad por la gestión de los productos al final de su vida útil. Esto significa que los productores deben encargarse de la recolección, el reciclaje o la eliminación adecuada de los productos que han puesto en el mercado (Rodríguez L. , 2023).

Las políticas de REP suelen incluir sistemas de devolución y recuperación de productos, así como la obligación de financiar o implementar programas de reciclaje. Este enfoque promueve la responsabilidad de los fabricantes no solo en la fase de producción, sino también en la gestión post-consumo, incentivando un ciclo de vida más sostenible para los productos (Santos, 2024).

Las normativas sobre el manejo de residuos establecen los requisitos para la recolección, el transporte, el tratamiento y la disposición final de los desechos. Estas regulaciones garantizan que los residuos se gestionen de manera segura y efectiva, minimizando riesgos para la salud pública y el medio ambiente. Las normativas suelen definir los estándares técnicos y operativos que deben cumplir las instalaciones de tratamiento de residuos, tales como vertederos, incineradoras y plantas de reciclaje (Santos, 2024).

Además, estas regulaciones pueden especificar los métodos permitidos para la disposición de diferentes tipos de residuos, como residuos peligrosos, biológicos y reciclables. Las políticas de manejo de residuos también pueden incluir requisitos para la separación en origen y la clasificación de desechos para facilitar su reciclaje y compostaje.

Los gobiernos a menudo implementan incentivos y subvenciones para promover la adopción de prácticas sostenibles en la gestión de residuos. Estos incentivos pueden incluir reducciones fiscales, subsidios y financiamiento para proyectos de reciclaje, compostaje y reducción de residuos. Los incentivos económicos buscan estimular a empresas y municipios a invertir en tecnologías y prácticas que mejoren la eficiencia en la gestión de desechos y reduzcan el impacto ambiental.

Por ejemplo, los gobiernos pueden ofrecer subvenciones para la instalación de equipos de reciclaje avanzados o para la implementación de programas de educación y concienciación sobre la gestión de residuos. Estos apoyos financieros contribuyen a facilitar la transición hacia un sistema de gestión de residuos más eficiente y sostenible.

Además de las regulaciones y políticas directas sobre la gestión de residuos, las iniciativas gubernamentales también suelen incluir programas de educación y concienciación pública. Estos programas buscan informar a los ciudadanos sobre la importancia de la reducción, la reutilización y el reciclaje de residuos, así como sobre las prácticas adecuadas para la disposición de desechos (Santos, 2024).

Las campañas educativas pueden incluir talleres, eventos comunitarios y materiales informativos que promuevan comportamientos responsables y sostenibles en la gestión de residuos. La educación pública es esencial para asegurar la participación activa de la comunidad en los esfuerzos de reducción de residuos y para fomentar una cultura de responsabilidad ambiental.

5.6 Fases del Sistema de gestión integral de residuos sólidos

El sistema de gestión integral de residuos sólidos abarca un enfoque metódico y estructurado para manejar los desechos desde su origen hasta su disposición final, asegurando una administración eficaz y sostenible. En primer lugar, la generación de residuos constituye la etapa inicial del sistema, en la cual los desechos son producidos en

diversos contextos, como hogares, industrias y comercios. En esta fase, se realiza la identificación y clasificación de los tipos de residuos generados, que pueden incluir orgánicos, reciclables, peligrosos o inertes. La implementación de prácticas para reducir y minimizar los residuos en el punto de origen juega un papel crucial en esta etapa (Campaña, 2024).

A continuación, la recolección y transporte de los residuos representa la fase siguiente, donde los desechos son recogidos y trasladados a las instalaciones de tratamiento o disposición final. Esta etapa requiere una recolección sistemática y regular utilizando vehículos adecuados y rutas bien planificadas para optimizar la eficiencia del proceso. La correcta segregación de residuos en el origen facilita un transporte más eficiente y garantiza que todos los tipos de residuos reciban la atención necesaria.

Una vez recolectados, los residuos pasan a la fase de clasificación y separación, en la que se organizan en categorías como reciclables, orgánicos, peligrosos e inertes. Esta separación puede realizarse en instalaciones de procesamiento o en el origen, dependiendo del sistema implementado. La adecuada clasificación y separación de los residuos son esenciales para maximizar el reciclaje y la reutilización, lo que contribuye a la reducción del volumen de residuos destinados a la disposición final (Campaña, 2024).

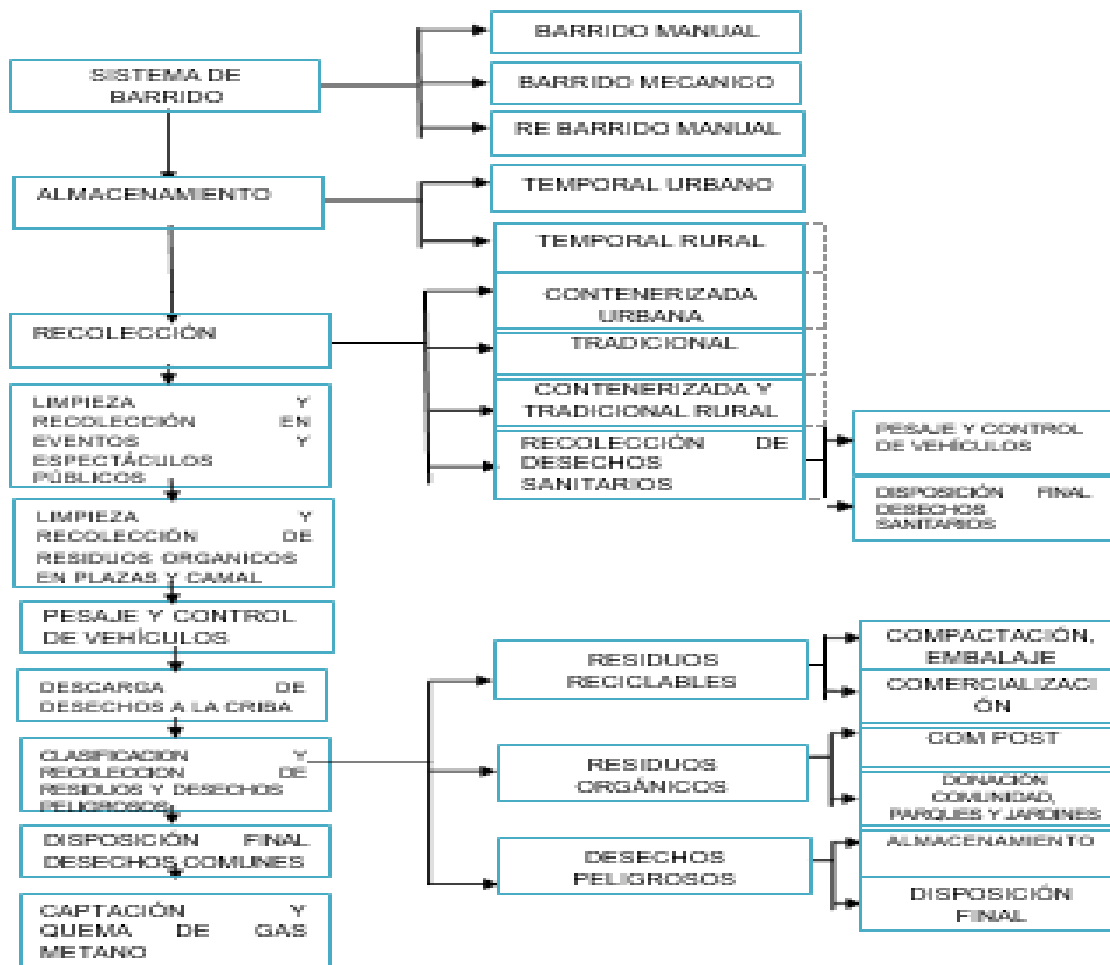
La siguiente fase es el tratamiento y procesamiento de los residuos, donde se aplican técnicas específicas para transformar los desechos en productos útiles o en formas que faciliten su disposición final. Los residuos orgánicos, por ejemplo, pueden ser compostados para producir abono, mientras que los reciclables se procesan para su reutilización en nuevos productos. Los residuos peligrosos requieren tratamientos especiales para reducir su impacto. Esta fase es clave para la minimización del volumen de residuos y la reducción de su impacto ambiental.

En la fase de disposición final, los residuos que no pueden ser reciclados o tratados se gestionan de manera segura. Esta etapa incluye la disposición en vertederos, la incineración o, en algunos casos, la utilización de residuos en procesos industriales. La elección del método de disposición final está determinada por el tipo de residuo y las políticas de gestión vigentes. Es esencial que la disposición final cumpla con las normativas ambientales para prevenir la contaminación del suelo, agua y aire.

Finalmente, el monitoreo y evaluación del sistema de gestión integral de residuos sólidos constituyen la fase de cierre del proceso. Esta etapa implica un seguimiento continuo de las actividades relacionadas con la gestión de residuos para verificar que se cumplan los objetivos establecidos. La evaluación incluye la revisión de la eficacia de las prácticas de reducción, recolección, clasificación, tratamiento y disposición final. Los resultados obtenidos permiten identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias de gestión para optimizar el sistema (Campaña, 2024).

Es importante mencionar que, las fases del sistema de gestión integral de residuos sólidos, que abarcan desde la generación hasta la disposición final, incluyen la recolección, clasificación, tratamiento y evaluación. Cada una de estas etapas es fundamental para garantizar un manejo eficiente y sostenible de los residuos, minimizando su impacto ambiental y promoviendo la protección de la salud pública. La correcta implementación de estas fases contribuye a establecer un sistema de gestión de residuos eficaz y responsable.

Figura 2. *Fase de Gestión Integral*



Nota: La figura representa la fase de gestión integral. Tomado de (Campaña, 2024)

5.7 Software Vensim

El software Vensim es una herramienta poderosa y versátil utilizada en la modelización y simulación de sistemas dinámicos. Este software permite a los usuarios construir modelos detallados que representan sistemas complejos y analizar sus comportamientos a lo largo del tiempo. En el contexto de la gestión de residuos, Vensim ofrece una plataforma para desarrollar modelos que pueden ayudar a optimizar los sistemas de gestión de residuos, evaluar diferentes escenarios y prever los efectos de diversas políticas y prácticas (Santamaría, 2024).

Vensim se destaca por su capacidad para manejar modelos de simulación basados en ecuaciones diferenciales y en la dinámica de sistemas. El software permite a los usuarios crear diagramas de flujo y modelos causales que representan las relaciones entre diferentes variables dentro de un sistema. Por ejemplo, en la gestión de residuos, se

pueden modelar variables como la tasa de generación de residuos, la capacidad de recolección, los costos operativos y la eficiencia de los procesos de tratamiento y disposición final.

El uso de Vensim en la optimización del sistema de gestión de residuos incluye la creación de modelos que reflejan la interacción entre diferentes componentes del sistema. Esto puede abarcar desde la generación de residuos en diversas fuentes hasta la recolección, el tratamiento y la disposición final. Mediante la simulación de estos modelos, los usuarios pueden evaluar cómo cambios en las variables, como la frecuencia de recolección o la capacidad de los camiones, impactan en el rendimiento general del sistema. Esto permite a las autoridades y gestores de residuos prever las consecuencias de sus decisiones y ajustar sus estrategias en consecuencia (Santamaría, 2024).

Una de las características clave de Vensim es su capacidad para realizar análisis de sensibilidad y escenarios. Esto significa que los usuarios pueden probar cómo variaciones en ciertos parámetros afectan el comportamiento del sistema en su conjunto. Por ejemplo, se puede simular cómo un aumento en la tasa de reciclaje o una mejora en la eficiencia del transporte de residuos influye en los costos operativos y en el impacto ambiental. Estos análisis ayudan a identificar las áreas en las que se pueden lograr mejoras significativas y a tomar decisiones informadas sobre las estrategias de gestión de residuos.

Además, Vensim facilita la visualización de los resultados de las simulaciones mediante gráficos y diagramas que representan los cambios en las variables a lo largo del tiempo. Esto proporciona una comprensión clara y detallada del comportamiento del sistema, permitiendo a los usuarios comunicar los hallazgos de manera efectiva a las partes interesadas y a los responsables de la toma de decisiones. La capacidad de visualizar cómo se desarrollan los procesos y cómo las variables interactúan entre sí es crucial para la planificación y la implementación de estrategias de gestión de residuos eficaces.

5.7.1 Enfoque en Vensim

Vensim es una herramienta de modelización de sistemas dinámicos que permite una comprensión profunda y detallada de cómo los sistemas complejos funcionan y responden a diferentes variables y condiciones. Su enfoque se basa en la creación y simulación de modelos que representan las interacciones entre componentes del sistema,

permitiendo a los usuarios analizar y prever el comportamiento a lo largo del tiempo. Este enfoque es particularmente útil en la gestión de residuos, donde los sistemas son complejos y los efectos de las decisiones pueden tener implicaciones amplias (Burgos, 2022).

El enfoque principal de Vensim es el modelado basado en dinámica de sistemas, que se centra en la representación gráfica de las relaciones causales entre variables. Los usuarios crean diagramas de flujo y modelos causales que ilustran cómo los elementos del sistema interactúan entre sí. En la gestión de residuos, esto puede incluir variables como la generación de residuos, la capacidad de recolección, el procesamiento y la disposición final. Este enfoque permite identificar las dinámicas del sistema y cómo los cambios en una parte pueden afectar al conjunto (Burgos, 2022).

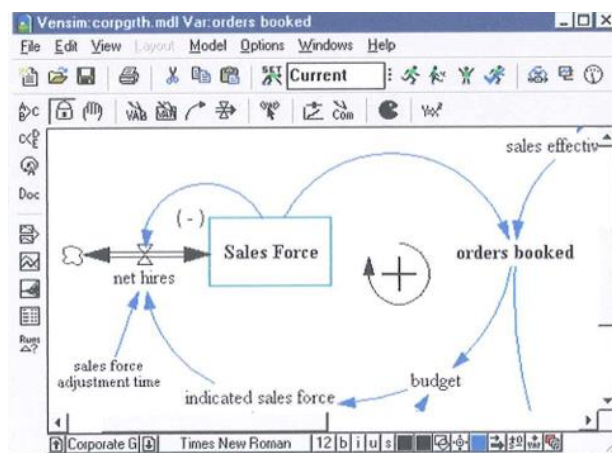
Otra característica destacada del enfoque de Vensim es su capacidad para realizar simulaciones de escenarios. Los modelos creados en Vensim pueden ser ajustados para probar diferentes escenarios y políticas, permitiendo a los usuarios evaluar cómo las variaciones en las variables afectan el comportamiento del sistema. Por ejemplo, se puede simular el impacto de aumentar la frecuencia de recolección o introducir nuevas tecnologías de tratamiento de residuos. Esta capacidad de simulación es crucial para la planificación estratégica y la toma de decisiones informadas, ya que proporciona una visión anticipada de las posibles consecuencias de las acciones propuestas.

El análisis de sensibilidad es otro componente clave del enfoque de Vensim. A través de este análisis, los usuarios pueden examinar cómo los cambios en los parámetros del modelo afectan los resultados del sistema. Esto ayuda a identificar cuáles son las variables más críticas que influyen en el rendimiento del sistema y permite enfocar los esfuerzos de optimización en las áreas que tienen el mayor impacto. En la gestión de residuos, este análisis puede revelar cómo las fluctuaciones en la generación de residuos o en la capacidad de los recursos afectan la eficiencia y los costos del sistema (Burgos, 2022).

Finalmente, Vensim también se enfoca en la visualización de resultados. Los modelos y simulaciones generados pueden ser representados gráficamente para facilitar la interpretación y comunicación de los resultados. Los gráficos y diagramas que muestran cómo las variables cambian a lo largo del tiempo permiten a los gestores y

tomadores de decisiones entender mejor el comportamiento del sistema y comunicar sus hallazgos a las partes interesadas de manera efectiva. Esta capacidad de visualización es esencial para la toma de decisiones estratégicas y la implementación de políticas basadas en datos.

Figura 3. Software Vensim



Nota: La figura presenta al Software Vensim

5.7.2 Estructura del Sistema

La estructura del sistema en Vensim se basa en un enfoque organizado y modular que facilita la creación, análisis y simulación de modelos complejos. Esta estructura está diseñada para representar de manera precisa y eficiente las interacciones entre las diferentes variables y componentes de un sistema, lo que es esencial para la optimización y gestión eficaz en contextos como la administración de residuos sólidos.

En primer lugar, la estructura del sistema en Vensim se organiza mediante el uso de diagramas de flujo y diagramas causales. Los diagramas de flujo representan las dinámicas de las variables a lo largo del tiempo, mostrando cómo las cantidades fluyen entre diferentes partes del sistema. Estos diagramas incluyen elementos como stocks (reservas o acervos) y flows (flujos), que visualizan cómo las existencias se acumulan o se liberan. Por ejemplo, en el contexto de gestión de residuos, un diagrama de flujo puede mostrar cómo la cantidad de residuos generados se distribuye entre recolección, procesamiento y disposición final (García, 2021).

En paralelo, los diagramas causales ilustran las relaciones de causa y efecto entre las variables. Estos diagramas ayudan a identificar y comprender las interacciones entre

diferentes componentes del sistema. Las flechas en los diagramas causales indican cómo un cambio en una variable puede influir en otra. Por ejemplo, una flecha puede mostrar que un aumento en la tasa de generación de residuos afecta la demanda de servicios de recolección. Esta representación visual facilita la comprensión de la dinámica del sistema y las posibles consecuencias de las decisiones (García, 2021).

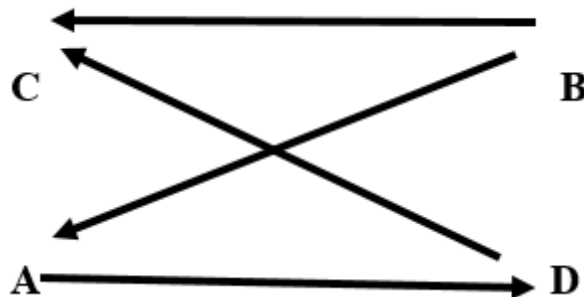
La estructura del sistema también incorpora variables de nivel y de tasa. Las variables de nivel (o stocks) representan cantidades acumuladas, como el volumen total de residuos en un vertedero. Por otro lado, las variables de tasa (o flows) representan cambios en estas cantidades, como la tasa de recolección de residuos. La interacción entre estos tipos de variables permite modelar cómo las existencias cambian con el tiempo en respuesta a diferentes flujos y acciones.

Otra componente clave de la estructura del sistema en Vensim son las ecuaciones de comportamiento. Estas ecuaciones definen cómo las variables del modelo se interrelacionan y cómo cambian a lo largo del tiempo. Las ecuaciones pueden incluir relaciones matemáticas complejas que describen el impacto de diferentes factores sobre el sistema. Por ejemplo, una ecuación puede modelar cómo la capacidad de recolección se ajusta en función del número de camiones disponibles y su frecuencia de operación.

Además, Vensim permite la incorporación de parámetros y constantes en el modelo. Los parámetros son valores que se utilizan en las ecuaciones y que pueden ajustarse para simular diferentes escenarios. Por ejemplo, un parámetro puede representar el costo por tonelada de residuos recolectados, y su ajuste puede ayudar a evaluar el impacto financiero de diferentes estrategias de gestión (García, 2021).

Finalmente, la estructura del sistema en Vensim se complementa con herramientas de análisis y visualización. Las capacidades de simulación permiten explorar cómo los cambios en las variables afectan el sistema a lo largo del tiempo. Los gráficos y tablas generados por el software facilitan la interpretación de los resultados y la comunicación de hallazgos. Esto es crucial para la toma de decisiones informadas y la planificación estratégica en la gestión de residuos.

Figura 4. *Diagrama Abierto*



Nota: La figura representa el diagrama abierto

5.7.3 Bucle de retroalimentación

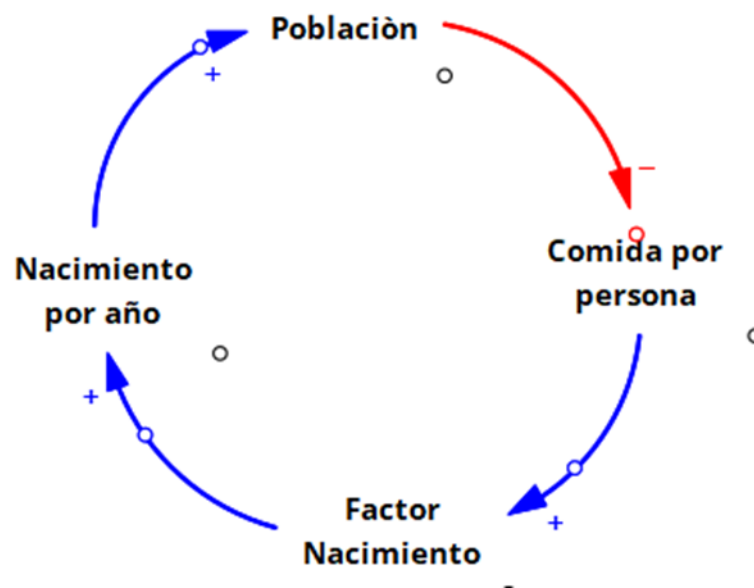
El bucle de retroalimentación es un concepto fundamental en el análisis de sistemas complejos, y se refleja en los diagramas causales complejos. Este bucle se manifiesta como una cadena cerrada de relaciones causales que interactúan entre sí. Los bucles de retroalimentación se dividen en dos tipos principales: positiva y negativa, cada uno de los cuales desempeña un papel crucial en el comportamiento global del sistema (Ceballos, 2021).

5.7.4 Bucle de retroalimentación positiva

El bucle de retroalimentación positiva, como se ilustra en la Figura 3, se caracteriza por amplificar las variaciones iniciales dentro del sistema. En este tipo de bucle, un cambio en un elemento genera una serie de reacciones en cadena que refuerzan y amplifican la variación original. Esta retroalimentación acumulativa conduce a un incremento continuo en el efecto observado. Un aspecto distintivo de los bucles de retroalimentación positiva es la presencia de un par de relaciones negativas, que, a pesar de su nombre, contribuyen al proceso de amplificación en lugar de atenuarlo (Ceballos, 2021).

Por otro lado, el bucle de retroalimentación negativa actúa de manera diferente al contrarrestar las variaciones iniciales. Este tipo de bucle tiene el efecto de estabilizar el sistema, promoviendo un equilibrio al reducir o contrarrestar las desviaciones. Mientras que el bucle de retroalimentación positiva amplifica las variaciones, el bucle negativo tiende a mantener el sistema en un estado más estable, corrigiendo cualquier desviación de la norma y contribuyendo al homeostasis del sistema.

Figura 5. *Bucle de retroalimentación positiva*



Fuente: Autor propio

Nota: La figura representa el bucle de retroalimentación positiva

5.7.5 Bucle de retroalimentación negativa:

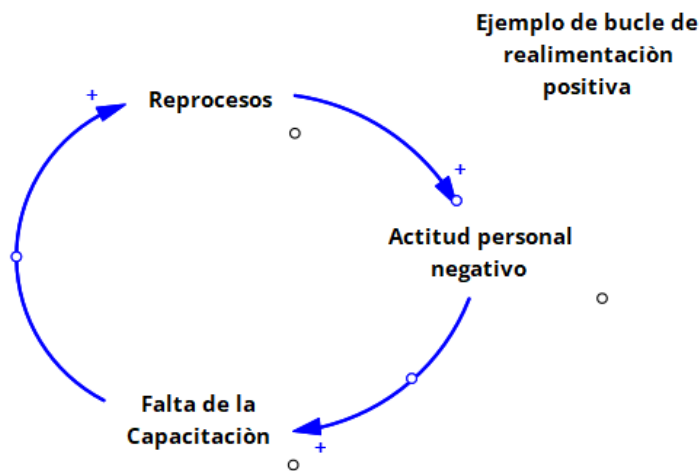
El bucle de retroalimentación negativa es un concepto fundamental en la teoría de sistemas y en la modelización dinámica. Este tipo de bucle se caracteriza por su capacidad para estabilizar un sistema al contrarrestar las desviaciones de un equilibrio deseado.

En esencia, un bucle de retroalimentación negativa actúa como un mecanismo de control que regula y estabiliza el comportamiento de un sistema. Cuando un elemento del sistema experimenta una variación, el bucle negativo genera una respuesta que tiende a reducir o contrarrestar esa variación. Esto se logra mediante una serie de interacciones causales que forman una cadena de retroalimentación cerrada, en la que la salida del sistema afecta su entrada de manera que se promueve la estabilidad (Quiza, 2020).

Por ejemplo, en un sistema de regulación de temperatura, si la temperatura interna de un edificio aumenta por encima del nivel deseado, el sistema de calefacción puede reducirse automáticamente para contrarrestar el exceso de calor. A medida que la temperatura interna disminuye, el sistema de calefacción ajusta su funcionamiento hasta que se alcanza nuevamente el equilibrio deseado. Este proceso es un ejemplo claro de

cómo un bucle de retroalimentación negativa contribuye a mantener el sistema en un estado estable.

Figura 6. *Diagrama de retroalimentación negativa*



Fuente: Elaborado por autor propio

Nota: La figura representa el diagrama de retroalimentación negativa

Diagrama de Forrester:

El Diagrama de Forrester es una herramienta crucial en la modelización dinámica y en el análisis de sistemas complejos. Este tipo de diagrama, desarrollado por Jay W. Forrester, se utiliza para representar las relaciones causales y las interacciones entre diferentes componentes dentro de un sistema. Su objetivo principal es facilitar la comprensión de cómo los elementos del sistema influyen entre sí y cómo las dinámicas internas afectan el comportamiento general del sistema (Guerrero , 2021).

En primer lugar, el Diagrama de Forrester se caracteriza por su capacidad para ilustrar las relaciones de causa y efecto entre variables. A través de este diagrama, se puede visualizar cómo un cambio en una variable puede provocar una serie de reacciones en otras variables dentro del sistema. Estos diagramas incluyen flechas que indican las direcciones de influencia, y pueden mostrar tanto retroalimentación positiva como negativa, proporcionando una visión clara de las dinámicas subyacentes del sistema.

Además, el Diagrama de Forrester utiliza conceptos clave como los "stocks" y los "flows" para modelar la acumulación y el movimiento de recursos dentro del sistema. Los "stocks" representan las cantidades acumuladas de un recurso en un momento dado,

mientras que los "flows" muestran la tasa a la cual el recurso entra o sale del stock. Este enfoque permite analizar cómo los cambios en las tasas de flujo afectan los niveles de stock y, por ende, el comportamiento general del sistema (Guerrero , 2021)..

Una característica importante del Diagrama de Forrester es su capacidad para identificar bucles de retroalimentación, que pueden ser tanto positivos como negativos. Los bucles de retroalimentación positiva amplifican los cambios en el sistema, mientras que los bucles de retroalimentación negativa tienden a estabilizarlo. La representación de estos bucles ayuda a comprender cómo las dinámicas de retroalimentación afectan la evolución del sistema a lo largo del tiempo.

En términos de aplicación práctica, el Diagrama de Forrester es útil para modelar y analizar una amplia gama de sistemas, desde procesos industriales hasta dinámicas económicas y sociales. Al proporcionar una representación visual de las relaciones causales y las interacciones dentro del sistema, permite a los analistas y diseñadores identificar problemas potenciales, evaluar escenarios futuros y desarrollar estrategias para mejorar el rendimiento del sistema.

Finalmente, la integración del Diagrama de Forrester con herramientas de simulación como Vensim potencia aún más su utilidad, permitiendo a los usuarios explorar cómo los cambios en los parámetros del modelo afectan el comportamiento general del sistema a lo largo del tiempo. Esta combinación de diagramas y simulaciones facilita una comprensión más profunda de las dinámicas complejas y apoya la toma de decisiones informadas en la gestión de sistemas (Guerrero , 2021).

Validación de la dinámica de sistemas

La validación de la dinámica de sistemas es un proceso crucial en la modelización dinámica, que garantiza que el modelo desarrollado representa de manera precisa y confiable el sistema real que se pretende analizar. Este proceso se enfoca en verificar que el modelo no solo es matemáticamente correcto, sino que también refleja adecuadamente las dinámicas y comportamientos observados en el sistema real. La validación asegura que las conclusiones extraídas del modelo sean relevantes y aplicables a la práctica (Oliva, 2020).

En primer lugar, la validación de la dinámica de sistemas implica la verificación del modelo frente a datos empíricos. Esto significa comparar las salidas del modelo con datos históricos reales para evaluar si el modelo reproduce correctamente los patrones observados en el sistema real. Si el modelo muestra una coincidencia cercana con los datos históricos, esto sugiere que el modelo es una representación precisa del sistema.

Además, la validación también incluye la evaluación de la consistencia interna del modelo. Esto se refiere a la revisión de la lógica interna del modelo para asegurarse de que todas las relaciones causales y las ecuaciones sean correctas y coherentes. Los errores en la estructura del modelo pueden llevar a resultados incorrectos, por lo que es fundamental realizar una revisión exhaustiva para identificar y corregir cualquier inconsistencia (Oliva, 2020).

Otro aspecto importante de la validación es la revisión por expertos. En este proceso, especialistas en el área del sistema modelado revisan el modelo para garantizar que sea realista y relevante. Los expertos pueden proporcionar una perspectiva valiosa sobre la precisión del modelo y sugerir mejoras basadas en su conocimiento y experiencia.

Además, la validación puede involucrar la realización de pruebas de sensibilidad. Estas pruebas evalúan cómo las variaciones en los parámetros del modelo afectan sus resultados. Si el modelo es robusto, debería mostrar una estabilidad razonable frente a pequeñas modificaciones en los parámetros. Las pruebas de sensibilidad ayudan a identificar qué variables tienen el mayor impacto en el comportamiento del sistema y pueden proporcionar una comprensión más profunda de la dinámica del sistema.

Finalmente, la validación incluye la evaluación del modelo en escenarios futuros. Esto implica usar el modelo para hacer predicciones sobre cómo se comportará el sistema bajo diferentes condiciones o políticas. Comparar estas predicciones con resultados reales cuando se implementen las políticas permite ajustar y mejorar el modelo, asegurando su relevancia y aplicabilidad en la toma de decisiones (Oliva, 2020).

5.8 Teoría de Sistemas Dinámicos

La teoría de sistemas dinámicos es una rama de la matemática aplicada que se enfoca en el estudio de sistemas que cambian a lo largo del tiempo y cómo estos cambios pueden ser modelados y analizados para entender su comportamiento. Esta teoría

proporciona un marco conceptual y metodológico para describir, analizar y predecir el comportamiento de sistemas complejos que evolucionan con el tiempo.

En primer lugar, la teoría de sistemas dinámicos se basa en el concepto de que los sistemas están compuestos por una serie de elementos interrelacionados que interactúan entre sí. Estos elementos pueden ser variables, parámetros o componentes que afectan el comportamiento del sistema en conjunto. La teoría estudia cómo estas interacciones producen cambios en el estado del sistema y cómo las variables y parámetros influyen en el comportamiento general del sistema (Argudo, 2021).

Además, la teoría de sistemas dinámicos utiliza modelos matemáticos para representar estos sistemas. Estos modelos pueden ser representados mediante ecuaciones diferenciales o diferencias que describen las relaciones entre las variables del sistema. Las ecuaciones diferenciales se utilizan para sistemas continuos, mientras que las ecuaciones en diferencias son empleadas para sistemas discretos. A través de estas ecuaciones, es posible analizar cómo las variables del sistema evolucionan con el tiempo.

Otro aspecto fundamental de la teoría de sistemas dinámicos es el análisis de la estabilidad y el comportamiento asintótico del sistema. La estabilidad se refiere a la capacidad del sistema para regresar a un estado de equilibrio después de una perturbación. El análisis del comportamiento asintótico examina cómo el sistema se comporta a largo plazo, es decir, cómo se estabiliza o cambia con el tiempo en ausencia de nuevas perturbaciones.

Además, la teoría de sistemas dinámicos estudia fenómenos complejos como los ciclos y el caos. Los ciclos son patrones recurrentes que pueden surgir en sistemas dinámicos, donde el sistema sigue una trayectoria cíclica o periódica. El caos, por otro lado, se refiere a un comportamiento altamente sensible a las condiciones iniciales, donde pequeñas variaciones en el estado inicial pueden llevar a grandes diferencias en el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo. Estos fenómenos son cruciales para entender cómo sistemas complejos pueden mostrar comportamientos impredecibles o caóticos (Argudo, 2021).

Finalmente, la teoría de sistemas dinámicos tiene aplicaciones prácticas en una variedad de campos, incluyendo la ingeniería, la economía, la biología y la gestión de recursos. En ingeniería, se utiliza para diseñar y controlar sistemas dinámicos, como

robots o sistemas de control automático. En economía, ayuda a modelar y predecir el comportamiento de mercados y economías. En biología, se emplea para entender las dinámicas de poblaciones o sistemas ecológicos. Y en la gestión de recursos, proporciona herramientas para optimizar el uso de recursos y gestionar sistemas complejos de manera efectiva.

5.8.1 Componentes Básicos de un Sistema Dinámico

Los sistemas dinámicos se fundamentan en la interrelación de diversos componentes esenciales que permiten su funcionamiento y análisis. Estos componentes incluyen variables, relaciones y estructuras que interactúan para definir el comportamiento del sistema en el tiempo.

En primer lugar, las variables de estado son fundamentales en un sistema dinámico. Estas variables representan las propiedades o características que cambian a lo largo del tiempo dentro del sistema. Por ejemplo, en un sistema de gestión de residuos, las variables de estado podrían incluir la cantidad de residuos recolectados, el nivel de llenado de los contenedores y la capacidad de procesamiento. Estas variables son clave para monitorizar y analizar el estado actual del sistema (Rivera, 2022).

Por otro lado, las variables de flujo son aquellas que describen las tasas de cambio en las variables de estado. Estas variables determinan cómo las cantidades en el sistema se incrementan o disminuyen. Por ejemplo, en un sistema de gestión de residuos, el flujo podría referirse a la tasa de generación de residuos o a la velocidad de recolección. Las variables de flujo son cruciales para entender cómo las entradas y salidas afectan al sistema y para prever futuras dinámicas.

Además, los contadores o stocks son componentes que acumulan las variables de estado a lo largo del tiempo. Los contadores son importantes porque permiten observar el acumulado de una variable en un momento dado y cómo este acumulado cambia debido a las variaciones en las tasas de flujo. En un sistema de gestión de residuos, los contadores pueden representar el total de residuos almacenados en un vertedero o la cantidad de residuos procesados en una planta de reciclaje (Rivera, 2022).

Finalmente, los parámetros definen las características específicas del sistema y afectan el comportamiento de las variables de estado y flujo. Estos parámetros pueden

incluir tasas de conversión, coeficientes de eficiencia y límites operativos. Ajustar estos parámetros es esencial para simular diferentes escenarios y optimizar el funcionamiento del sistema.

En conjunto, estos componentes interactúan para formar un modelo coherente que refleja el comportamiento dinámico del sistema. Al analizar y ajustar estas variables, flujos, contadores y parámetros, se puede obtener una comprensión más profunda de cómo funciona el sistema y cómo mejorar su eficiencia.

5.8.2 Tipos de Sistemas Dinámicos:

Acevedo, (2021), explica que los sistemas dinámicos pueden clasificarse en varias categorías según su comportamiento y características fundamentales. Estos tipos varían en función de sus estructuras internas, el tipo de dinámica que exhiben y cómo responden a las perturbaciones externas, a continuación, se describen los principales tipos de sistemas dinámicos:

5.8.2.1 Sistemas Dinámicos Lineales

Los sistemas dinámicos lineales se caracterizan por la proporcionalidad directa entre las entradas y las salidas. En estos sistemas, las ecuaciones que describen el comportamiento del sistema son lineales, lo que significa que la respuesta del sistema a una entrada es directamente proporcional a la magnitud de la entrada. La simplicidad de los sistemas lineales permite el uso de técnicas matemáticas y analíticas relativamente sencillas para su estudio y control. Ejemplos comunes incluyen sistemas de control de procesos industriales y circuitos eléctricos básicos (Acevedo, 2021).

5.8.2.2 Sistemas Dinámicos No Lineales

A diferencia de los sistemas lineales, los sistemas dinámicos no lineales exhiben una relación más compleja entre las entradas y las salidas. En estos sistemas, las ecuaciones que describen su comportamiento no son lineales, lo que resulta en dinámicas más complejas como bifurcaciones, caos y comportamientos emergentes. Los sistemas no lineales son comunes en fenómenos naturales y en aplicaciones como la modelización del clima, la dinámica de poblaciones biológicas y ciertos procesos económicos. Estos sistemas requieren métodos más avanzados para su análisis y control (Acevedo, 2021).

5.8.2.3 Sistemas Estables

Los sistemas estables son aquellos en los que las perturbaciones o cambios en las condiciones iniciales eventualmente se disipan y el sistema regresa a su estado de equilibrio o comportamiento normal. La estabilidad es una característica deseable en muchos contextos, ya que garantiza que el sistema no se desvíe de manera indefinida ante pequeñas perturbaciones. Los sistemas estables se utilizan en aplicaciones como la regulación automática de procesos y el diseño de controladores en ingeniería.

5.8.2.4 Sistemas Inestables

Por el contrario, los sistemas inestables son aquellos que tienden a amplificar las perturbaciones en lugar de disiparlas. En estos sistemas, incluso pequeñas perturbaciones pueden crecer con el tiempo, llevando al sistema a un comportamiento descontrolado o caótico. La inestabilidad es una característica crítica a gestionar en campos como la ingeniería de control y la dinámica de sistemas complejos, donde es esencial diseñar mecanismos para mantener el sistema bajo control (Acevedo, 2021).

5.8.2.5 Sistemas Dinámicos Discretos

Los sistemas dinámicos discretos evolucionan en pasos o intervalos de tiempo específicos, en lugar de continuamente. En estos sistemas, el comportamiento se analiza en puntos de tiempo discretos, y las transiciones entre estados se producen en intervalos regulares. Los modelos de sistemas dinámicos discretos son útiles para representar procesos que se actualizan en momentos específicos, como en la planificación de la producción o la programación de algoritmos computacionales (Ocampo, 2022).

5.8.2.6 Sistemas Dinámicos Continuos

A diferencia de los sistemas discretos, los sistemas dinámicos continuos evolucionan de manera continua en el tiempo. En estos sistemas, las variables cambian de manera fluida y continua, lo que permite una representación más precisa de fenómenos que se desarrollan sin interrupciones. Los modelos continuos son ampliamente utilizados en la modelización de procesos físicos y biológicos, como la dinámica de fluidos o el crecimiento de poblaciones.

Cada tipo de sistema dinámico presenta desafíos y oportunidades únicas para su análisis y optimización. Comprender las características específicas de cada tipo permite elegir los métodos y herramientas más adecuados para modelar, analizar y mejorar el comportamiento del sistema en cuestión (Ocampo, 2022).

5.9 Sistemas dinámicos en la gestión de Residuos

Los sistemas dinámicos juegan un papel fundamental en la gestión de residuos al ofrecer una visión integral de cómo los distintos componentes del sistema interactúan a lo largo del tiempo. Esta perspectiva permite entender mejor los procesos de gestión de residuos y facilita la identificación de estrategias para optimizar estos sistemas. A través de la modelización del ciclo de vida completo de los residuos, desde su generación hasta su disposición final, los sistemas dinámicos permiten simular cómo las variaciones en la cantidad de residuos afectan al sistema en su totalidad. Esto permite a los gestores anticipar problemas y planificar de manera efectiva, como prever cómo un aumento en la población influye en la cantidad de residuos generados y en la capacidad de los sistemas de tratamiento.

Además, los modelos dinámicos son útiles para evaluar el impacto de diferentes estrategias de gestión y políticas en el sistema de residuos. Al simular diversos escenarios, como la implementación de nuevas políticas de reciclaje o cambios en las tasas de generación de residuos, los responsables de la toma de decisiones pueden analizar los efectos a corto y largo plazo. Esto ayuda a identificar las estrategias más efectivas para reducir la cantidad de residuos, mejorar la eficiencia del reciclaje y minimizar los costos operativos. Por ejemplo, se pueden comparar los efectos de aumentar la frecuencia de recolección con los de implementar programas de reducción de residuos en la fuente (Duarte, 2024).

La planificación y optimización de la infraestructura de gestión de residuos, como los centros de reciclaje, vertederos y rutas de recolección, también se benefician de los modelos dinámicos. Estos modelos permiten analizar la interacción entre diferentes componentes del sistema, como la capacidad de almacenamiento y el ritmo de generación de residuos. Utilizando simulaciones, se pueden ajustar los recursos y la infraestructura para maximizar la eficiencia operativa y reducir los costos. Por ejemplo, un modelo

dinámico puede ayudar a optimizar las rutas de recolección para minimizar el tiempo y el costo del transporte de residuos.

Los sistemas dinámicos también son valiosos para la gestión de riesgos y la evaluación de la resiliencia del sistema ante diversos desafíos, como cambios en la generación de residuos o fallos en la infraestructura. Al modelar posibles perturbaciones, como desastres naturales o cambios en las políticas, los gestores pueden desarrollar estrategias para mitigar los impactos negativos y garantizar la continuidad del servicio. Esto incluye identificar puntos críticos en el sistema que podrían necesitar refuerzos para mantener la estabilidad operativa (Duarte, 2024).

Finalmente, la integración de objetivos ambientales en los modelos de gestión a través de sistemas dinámicos promueve la sostenibilidad. Estos modelos pueden incluir variables como la reducción de emisiones, el impacto ambiental de los procesos de tratamiento y reciclaje, y la eficiencia en el uso de recursos. Al analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones, los gestores pueden identificar oportunidades para mejorar el rendimiento ambiental y avanzar hacia una gestión de residuos más sostenible. En resumen, la aplicación de sistemas dinámicos en la gestión de residuos proporciona una herramienta potente para comprender, planificar y optimizar el manejo de residuos, facilitando la toma de decisiones informadas y contribuyendo a la mejora continua del sistema de gestión (Duarte, 2024).

5.10 Marco Normativo Legal

El marco normativo legal en la gestión de residuos en el cantón de Salcedo está fundamentado en una serie de leyes y regulaciones tanto nacionales como locales que guían las prácticas de manejo de desechos. En Ecuador, la Ley Orgánica de Gestión de Residuos Sólidos establece principios clave para la reducción, reutilización y reciclaje de residuos, definiendo responsabilidades para los distintos actores involucrados. A nivel local, el GAD Municipal de Salcedo debe adaptar estas normativas a las condiciones específicas del cantón, asegurando la correcta implementación de planes de gestión que incluyan la recolección, tratamiento y disposición final de residuos.

5.10.1 Constitución de la República del Ecuador

En la Constitución de la República del Ecuador, (2008), el Artículo 14 establece el derecho de todos los ciudadanos a vivir en un ambiente sano y equilibrado. El Estado está encargado de garantizar este derecho a través de políticas que aseguren la protección ambiental, incluida la correcta gestión de los residuos sólidos para evitar la contaminación y fomentar prácticas sostenibles.

El Artículo 15 subraya la importancia del desarrollo sostenible, que debe combinar la conservación del medio ambiente con el crecimiento económico. El Estado tiene la responsabilidad de promover una adecuada gestión de los desechos sólidos, prevenir la contaminación y apoyar la implementación de prácticas ambientales sostenibles (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Finalmente, el Artículo 19 reconoce la relevancia de la participación ciudadana en la protección del medio ambiente. Además, asigna a las entidades locales la tarea de adaptar las políticas nacionales a sus contextos específicos, garantizando la implementación eficaz y apropiada de las estrategias para el manejo integral de los desechos sólidos (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

5.10.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)

El COA (2017), establece un marco legal integral para la protección y gestión del medio ambiente en el país. En el Artículo 1, se define el objetivo como la promoción de un desarrollo sostenible mediante la gestión adecuada de los recursos naturales y la protección del ambiente. Este artículo subraya la necesidad de una legislación coherente que aborde la gestión ambiental desde una perspectiva holística y sostenible.

El Artículo 2 del COA (2017), establece el principio de precaución y el deber del Estado de prevenir daños ambientales. Este principio exige que se tomen medidas preventivas ante posibles riesgos ambientales, estableciendo regulaciones estrictas para la gestión de residuos sólidos y otros contaminantes para evitar impactos adversos sobre la salud y el entorno.

Por su parte, el Artículo 3 destaca la obligación de las entidades públicas y privadas de cumplir con las normativas ambientales, incluyendo la correcta gestión de residuos sólidos. Este artículo promueve la responsabilidad compartida entre el Estado y

los ciudadanos para implementar prácticas de gestión de residuos efectivas, asegurando así el cumplimiento de los estándares ambientales y la conservación de los recursos naturales (Código Organico Administrativo, 2017).

5.10.3 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

El Artículo 1 del COOTAD, (2010), define los principios de autonomía y descentralización, enfatizando la importancia de que los gobiernos locales asuman responsabilidades en la gestión de sus territorios, incluyendo la administración de residuos sólidos. Esto implica que los municipios deben desarrollar políticas locales y sistemas de gestión adecuados para el tratamiento y disposición de residuos, adaptados a sus necesidades y capacidades.

En el Artículo 2, se establece que las competencias de los gobiernos autónomos descentralizados incluyen la planificación y ejecución de políticas ambientales. Este artículo subraya la obligación de estos entes locales para implementar sistemas de gestión integral de residuos, garantizando así que las estrategias de manejo de desechos sean adecuadas y efectivas a nivel local (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización , 2010).

El Artículo 3 aborda la cooperación entre los diferentes niveles de gobierno y la participación ciudadana en la gestión ambiental. Este artículo fomenta la colaboración entre las autoridades locales y la comunidad para desarrollar y aplicar prácticas eficientes de manejo de residuos, promoviendo la responsabilidad compartida y el involucramiento de la población en la protección del entorno (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización , 2010).

5.10.4 Acuerdo N.º 61 reforma del Libro VI del Texto unificado de Legislación Secundaria

En el Capítulo VI sobre la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos y desechos peligrosos y/o especiales, se delinean las políticas generales para el manejo de estos residuos. El Artículo 49 establece directrices obligatorias para todas las entidades del Estado, así como para individuos y organizaciones públicas o privadas, nacionales o extranjeras. Estas políticas incluyen el manejo integral de residuos y desechos, la

responsabilidad extendida del productor o importador, y la reducción de la generación de residuos. Además, se enfatiza la minimización de riesgos sanitarios y ambientales, el refuerzo de la educación ambiental y la participación ciudadana, así como la valorización de los residuos como bienes económicos mediante principios de jerarquización que abarcan desde la prevención hasta la disposición final. También se promueve el uso de tecnologías para reducir los impactos ambientales y se establece la necesidad de crear estándares mínimos y sistematizar la información sobre residuos (ECOLEX, 2015).

El Artículo 55, correspondiente a la Sección I de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, define que la gestión integral abarca una serie de acciones y disposiciones que incluyen aspectos regulatorios, operativos, económicos y educativos. Esta gestión tiene el propósito de proporcionar a los residuos sólidos no peligrosos el destino más adecuado, considerando sus características y volumen, así como los costos de tratamiento y las posibilidades de recuperación. La implementación de estas fases de manejo incluye la minimización de la generación de residuos, su separación en la fuente, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final. Una gestión eficaz ayuda a reducir los impactos ambientales asociados a cada etapa del manejo de residuos.

7 PREGUNTAS CIENTÍFICAS

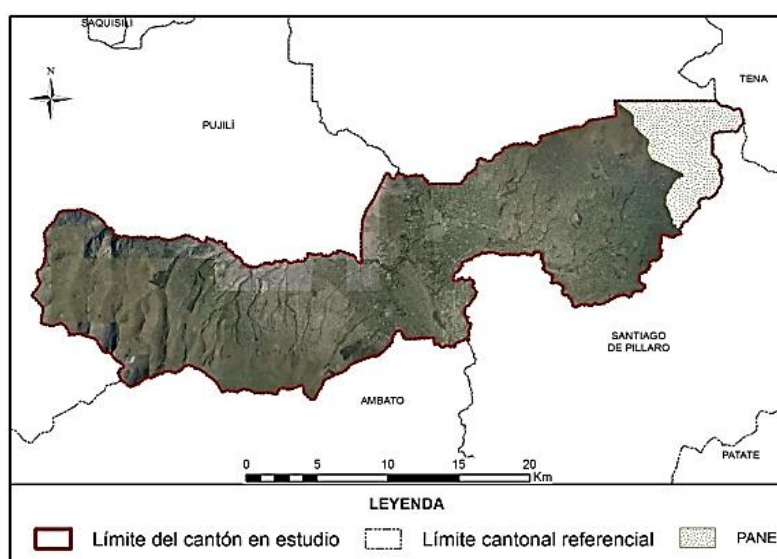
- ¿Cuál es la situación actual del sistema de gestión de residuos en el Cantón Salcedo, y qué deficiencias y áreas de oportunidad se pueden identificar para mejorar su eficiencia?
- ¿Qué estrategias y componentes debe incluir un plan integral basado en un sistema dinámico para optimizar la recolección, tratamiento y disposición final de los residuos en el Cantón Salcedo, con un enfoque en sostenibilidad ambiental y eficiencia operativa?
- ¿Cuál es el impacto del nuevo sistema dinámico de gestión de residuos en la reducción de la contaminación, la mejora de la calidad de vida de los habitantes, y el fortalecimiento de las capacidades operativas del GAD Municipal de Salcedo?

8 DISEÑO METODOLÓGICO

8.1 Área de Estudio

El Cantón Salcedo se encuentra en la provincia de Cotopaxi, en la región central del Ecuador, este se destaca por tener un clima agradable y su producción agrícola. Está situado en la región interandina del Ecuador, con temperaturas que oscilan entre los 10°C y 20°C. El cantón se creó el 19 de septiembre de 1919, como se aprecie en la Figura 7.

Figura 7. *Ubicación del Cantón Salcedo*



Fuente: GAD Municipal de Salcedo

El cantón Salcedo está situado en la región central del Ecuador, específicamente en la provincia de Cotopaxi. Este cantón se divide en seis parroquias, tanto urbanas como rurales. La cabecera cantonal, la ciudad de San Miguel de Salcedo, se encuentra a una elevación aproximada de 2,680 metros sobre el nivel del mar (GAD Salcedo, 2023).

Los límites del cantón son los siguientes: al norte colinda con el cantón Latacunga; al sur limita con el cantón Ambato, que pertenece a la provincia de Tungurahua; al este bordea los cantones Píllaro y Patate, también de la provincia de Tungurahua; y finalmente,

al oeste limita con los cantones Saquisilí y Sigchos, que forman parte de la provincia de Cotopaxi (GAD Salcedo, 2023).

Figura 8. *Ubicación del Relleno Sanitario*



Nota: La figura demuestra la ubicación del relleno sanitario. *Fuente:* Tomado de Google maps

Tabla 3. *Coordenadas de ubicación*

Nº	X	Y
1	765396.22	9883918.74
2	765507.20	9883851.90
3	765700.66	9883952.25
4	765805.02	9883943.75
5	765793.72	9883883.01

Fuente: Autor propio

8.1 Enfoque de la Investigación

Se utilizará un enfoque mixto en esta investigación, el cual de acuerdo a Hernandez-Sampieri, (2018), este enfoque combina métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una visión integral del problema, a través de técnicas cuantitativas, como encuestas y análisis estadísticos, se recogerán datos numéricos simultáneamente, se aplicarán métodos cualitativos, como entrevistas y grupos focales, para explorar las percepciones y experiencias.

El uso del enfoque mixto permitirá una comprensión más completa del problema al integrar datos estadísticos con información detallada sobre las necesidades y desafíos locales. Los métodos cuantitativos proporcionarán medidas objetivas y generalizables sobre el rendimiento del sistema, mientras que los métodos cualitativos ofrecerán una perspectiva contextual y profunda sobre las experiencias y percepciones de los involucrados. Esta combinación de enfoques facilitará el desarrollo de soluciones más efectivas y ajustadas a la realidad del Cantón Salcedo.

8.2 Tipos de Investigación

8.2.1 Investigación experimental

El tipo de investigación será experimental que, según Ramos, (2021) , se caracteriza por la manipulación de variables independientes para observar sus efectos sobre las variables dependientes, permitiendo establecer relaciones de causa y efecto. Este tipo de investigación es fundamental cuando se desea evaluar la eficacia de una intervención o un cambio en condiciones controladas, facilitando la determinación de la relación directa entre variables.

Se seleccionó el enfoque experimental porque permite evaluar de manera precisa los impactos del nuevo sistema dinámico de gestión de residuos en el Cantón Salcedo. Mediante la implementación controlada de este sistema y la observación de sus efectos sobre la eficiencia en la gestión de residuos y la reducción del impacto ambiental, se podrá obtener evidencia clara sobre su efectividad y realizar ajustes basados en resultados concretos.

8.2.2 Investigación de campo

El tipo de investigación incluirá investigación la investigación de campo, esta metodología de acuerdo a Haza, (2021), se centra en la recolección de datos directamente en el entorno natural donde ocurre el fenómeno de interés, proporcionando información detallada y contextual sobre las condiciones y prácticas actuales.

Se seleccionó la investigación de campo porque permite obtener datos empíricos y reales sobre el sistema de gestión de residuos en el Cantón Salcedo. Al observar y recopilar información directamente del entorno, se puede evaluar de manera más precisa la situación actual, identificar problemas específicos y adaptar las soluciones propuestas a las condiciones locales, asegurando así la eficacia y aplicabilidad del nuevo sistema de gestión.

8.2.3 Investigación Bibliográfica

El tipo de investigación también incorporará investigación bibliográfica la cual de acuerdo a Ruis y Carmona, (2021), este enfoque implica la revisión y análisis de estudios previos, artículos científicos, libros y otras publicaciones relevantes para comprender el estado actual del conocimiento sobre el tema en cuestión.

Se seleccionó la investigación bibliográfica porque proporciona un marco teórico sólido y una visión comprensiva de las metodologías y enfoques previamente utilizados en la gestión de residuos. Revisar la literatura existente permite identificar tendencias, estrategias efectivas y vacíos en el conocimiento, lo cual es esencial para fundamentar y contextualizar el desarrollo del sistema dinámico propuesto para el Cantón Salcedo.

8.3 Técnicas de Investigación

8.3.1 La observación

La técnica utilizada en esta investigación será la observación, la que se define de acuerdo a Jimenez, (2020), como la que permite recopilar datos directos y precisos sobre el sistema actual de gestión de residuos en el Cantón Salcedo, proporcionando una comprensión detallada de los procesos y desafíos presentes en el manejo de desechos.

Se optó por esta técnica porque facilita la identificación de deficiencias y áreas de mejora en la práctica real, lo cual es crucial para el desarrollo de un sistema dinámico efectivo. A través de la observación, se puede obtener información directa sobre la eficiencia operativa, la interacción entre los diferentes componentes del sistema y las condiciones del entorno, lo que permite diseñar soluciones basadas en evidencia y adaptadas a las necesidades específicas del Cantón.

8.3.2 Recopilación de Datos

La técnica para la recopilación de datos será la recolección de información mediante encuestas y entrevistas, esta metodología permitirá obtener datos cualitativos y cuantitativos directamente de las partes interesadas, incluidos los residentes y los responsables de la gestión de residuos en el Cantón Salcedo.

Se eligió esta técnica porque proporciona una visión comprensiva de las percepciones, experiencias y necesidades de los involucrados en el sistema de gestión de residuos. Las encuestas y entrevistas permiten capturar información detallada y específica, que es esencial para evaluar la situación actual, identificar problemas y definir áreas de mejora para el desarrollo e implementación del sistema dinámico propuesto.

8.3.3 Diseño de Investigación

Se seleccionó el diseño "corto transversal que de acuerdo a Hernandez y Torres, (2018) se refiere a un enfoque en el que el estudio se realiza en un período de tiempo limitado y específico, sin realizar observaciones o seguimientos a lo largo de un extenso intervalo. En este tipo de diseño, se recolectan datos en un solo punto en el tiempo o en un intervalo breve, permitiendo una evaluación rápida y puntual de la situación o fenómeno bajo investigación.

Este enfoque es útil para obtener una visión clara y concisa de las condiciones actuales o de un fenómeno particular en un momento dado, sin la necesidad de llevar a cabo un seguimiento prolongado. Es ideal para estudios que buscan identificar problemas, evaluar estrategias, o analizar situaciones específicas sin requerir un análisis a largo plazo o continuo.

8.3.4 Alcance de la Investigación

El alcance de la investigación será exploratorio, este enfoque permitirá examinar en profundidad el sistema de gestión de residuos en el Cantón Salcedo, proporcionando una comprensión detallada de sus características y desafíos.

Se seleccionó este alcance porque de acuerdo a Hernandez y Mendoza, (2018) busca identificar y analizar las variables y relaciones relevantes en el contexto específico

del Cantón. La investigación exploratoria es adecuada para recoger información preliminar y desarrollar una base sólida para futuros estudios más detallados, facilitando la formulación de estrategias efectivas y la implementación del sistema dinámico de gestión de residuos.

8.3.5 Análisis de Datos

La metodología comprendió principalmente tres fases fundamentales: la contextualización de la información para el modelo del problema en el GAD Municipal de Salcedo, la definición de las variables y el modelado mediante la utilización de Dinámica de Sistemas y el uso de Vensim para plantear estrategias de optimización.

8.4 Población

Las poblaciones identificadas a continuación fueron analizadas tomando en cuenta, el objetivo a alcanzar que se centra en mejorar el sistema de gestión de desechos, En el Cantón Salcedo, por dicha razón se ha establecido como universo las viviendas existentes.

Tabla 4.

Número de Viviendas del Cantón Salcedo.

Número de viviendas Del Cantón Salcedo	
Población Salcedo Urbanas	18 mil 734
Población Salcedo Rural	30 mil 652
Total	58.216

Fuente: Censo de Población y Viviendo 2018 (INEC, 2018)

8.5 Contextualización de las problemáticas del Cantón Salcedo

El modelamiento del Sistema de Gestión en el Cantón Salcedo considera la información y los datos recopilados en el marco teórico donde se determina las variables más factibles. Se llevó a análisis bibliográfico de cada uno de estos aspectos, analizando su comportamiento en los últimos años para construir tendencias pasadas y así proyectar posibles tendencias futuras, las cuales se validarán a través de dicho modelo. Para el estudio determinado, tales como: población, recolección, disposición final, aprovechamiento de residuos orgánicos y reciclaje.

Las variables recopiladas fueron elegidas debido a su presencia común de dichos modelos estudiados, son el crecimiento poblacional, la capacidad de relleno, la recuperación del material, entre otros.

8.5.1 Variables que se utilizan en Vensim para la simulación de sistemas

Los sistemas dinámicos están priorizados en el uso de las variables que se contactan en diferentes procesos para ver su repercusión, y el efecto en los distintos procedimientos este sistema dinámico de gestión parte del crecimiento poblacional como causa directa en la problemática de la gestión y su disposición final.

8.5.2 Definición de variables para el análisis del sistema dinámico en el diagrama de causales.

Para definir las variables a tenerse en cuenta se parte del Re-COA en su artículo 615, se establece las diferentes fases del sistema GIRS. La simulación debe poseer un efecto a través del tiempo para observar el comportamiento de variable a lo largo del tiempo.

1. **Fase de Generación:** En esta fase se consideran las variables causales de los desechos generados per cápita, a su vez clasificando por su origen; en esta fase obtenemos la población, generación de residuos intermedios y reciclables.
2. **Fase de almacenamiento y transporte:** se obtuvieron las variables causales como la recolección de residuos y en su fase de reciclaje, como los principales para optimizar el GIRS.
3. **Fase de Eliminación y disposición final:** se estableció como variable la capacidad del relleno sanitario, y residuos dispuestos en el relleno, se adiciono el aprovechamiento orgánico se dirige fundamentalmente a la eliminación.

Se establece la relación que se mantiene las variables entre sí para el análisis causal previo a la mejora del software Vensim estos parámetros son:

Tabla 5. *Variables*

VARIABLE	IMPORTANCIA
Población	Crecimiento Neto de la población “directamente proporcional a la generación de desechos”

Generación De Residuos	Proporciona información crucial para la planificación, evaluación y mejora de prácticas relacionadas con el manejo de desechos y el desarrollo sostenible.
Desechos Sanitarios	Permite cuantificar los desechos peligrosos generados en la parroquia de Salcedo.
Desechos Comunes	Determina la cantidad mayoritaria de desechos producidos por la comunidad de Salcedo, para lograr una optimización.
Material reciclado	Cantidad de desechos recuperados en del relleno sanitario, para determinar la cantidad que se puede recuperar y mejor la calidad ambiental.
Desechos Orgánicos	Fuente de recursos degradables para mejorar el medio ambiente.
Capacidad del Relleno	Volumen admisible de residuos sólidos en el vertedero.
Residuos dispuestos en el relleno	Garantiza del cumplimiento de las normas y optimización de los recursos.
Disposición Final	Desechos que se vierten en el relleno luego de ser procesados.

Nota: Variables consideradas en el proceso de Gestión de Residuos en el Cantón Salcedo. *Fuente:* Autor propio.

Los datos utilizados para la simulación son proporcionados por el departamento de Gestión Ambiental y área de residuos sólidos pertenecientes al GAD Municipal de Salcedo, los cuales se encuentran en la parte de Anexos.

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos fueron la evaluación de 4 escenarios diferentes propuestos por Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos (SGIRS), iniciando con un incremento del 30% de la separación en la fuente del total de residuos generados y

recolectados. Segundo escenario se sugirió el 30% de la revalorización de los residuos sólidos que se depositan en el SGIRS.

Para el tercer escenario se acoplaron el escenario 1 y 2 para lograr evidenciar la optimización en SGIRS tomando en cuenta como principal estrategia la mitigación en la fuente, basándose bajo la dictación del Re COA del país.

Como 4 escenario se estima al escenario 3 más un aumento de aprovechamiento de residuos al 50%, generado resultados a través del modelamiento en el Software Vensim para la optimización del SGIRS.

9.1.1 Caracterización de Sistema de Gestión Integral como Sistema Dinámico

Basándose en la metodología, el primer paso consistió en la creación del diagrama causal .

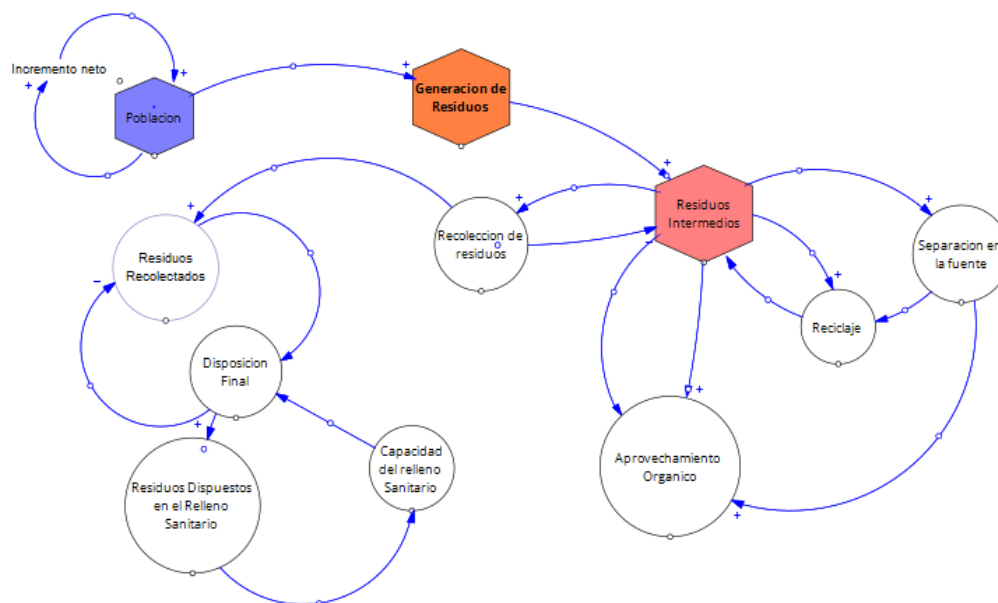
Figura 9, que se determina a partir de la población, dentro de esta variable se observa elementos como los nacimientos, las defunciones, la migración, los cuales producen la incrementación de población del Cantón Salcedo.

En efecto, para simplificar estas interacciones, se utiliza el concepto de incremento neto, el mismo que está conformado por las variables mencionadas anteriormente, y creando una combinación genera un impacto en la población, en donde podemos definir que si existe un aumento en la variable de incremento neto y su valor es positivo la población tendrá un crecimiento afectando así a la variable ya mencionada.

Tomando en cuenta todo este proceso podemos considerar que el bucle se caracterizará por ser un refuerzo.

Figura 9.

Diagrama de causas con las variables de estudio Sistema integral de gestión de residuos sólidos.



Fuente: Autor propio

Análisis de diagrama causa:

Si se presencia un incremento en la población, la generación de cantidad de residuos sólidos será mayor, lo cual quiere decir que aumentara los residuos intermedios, que se observan en el modelo, los cuales surgen después del proceso de aprovechamiento y se destina a la disposición final en el relleno sanitario.

La implementación de diversas estrategias puede reducir estos residuos. Como, por ejemplo, un aumento en los residuos intermedios puede promover una mayor separación en la fuente, lo cual a su vez facilitara dos acciones: en primer lugar, más reciclaje, es decir que, como consecuencia, menos residuos intermedios (primer bucle de balance, generando otro entre residuos y reciclaje): en segundo lugar, un mayor aprovechamiento de material orgánico y menos residuos intermedios (tercer bucle de balance, generando otro entre residuos y aprovechamiento).

Asimismo, la reducción de los residuos intermedios también puede lograrse mediante la recolección, estos llegan a ser considerados residuos recolectados, los cuales son transportados en el vehículo recolector, es así donde se establece el quinto bucle de balance, donde el aumento en los residuos acumulados implica una mayor recolección.

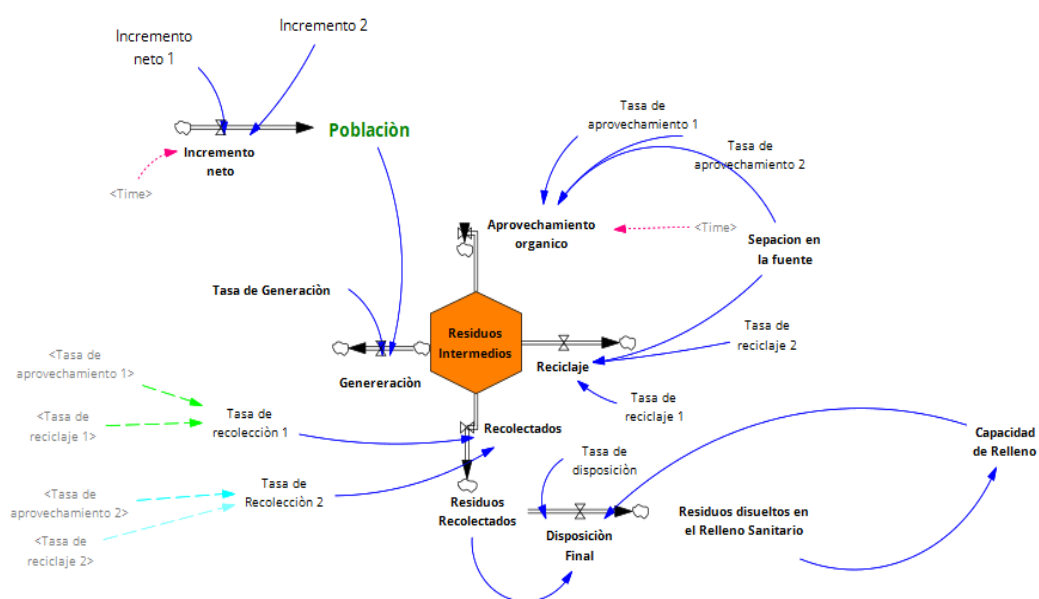
De la misma forma, una mayor recolección reduce la acumulación de residuos. En el proceso de recolección aumenta la cantidad de residuos recolectados, los cuales deben ser dispuestos. Esto quiere decir que, mientras mayor sea la cantidad de residuos recolectados, se requiere una mayor disposición final.

En otras palabras, una mayor disposición final precede a una disminución de los residuos presentes en los vehículos, dando lugar a la creación del sexto bucle de balance. Por último, si existe una cantidad mayor en la disposición final, se depositará más residuos en el Relleno Sanitario, lo cual llevará a cabo una disminución en la capacidad, al tomar en cuenta este aspecto, se determina que, a menor capacidad del relleno, la disposición final de residuos será de manera más limitada, creando así el último bucle de balance.

9.1.2 Diseño dinámico del Sistema de gestión integral de Residuos Solidos

Concluyendo con la elaboración del diagrama causal, la conversión a un diagrama de niveles y flujos se lleva a cabo utilizando el software Vensim, el diseño final se presenta en la elaboración fue esencial establecer de manera apropiada las variables de nivel, así como los flujos de entrada y salida mostrado en la Figura 11.

Figura 10.Diagrama de Flujo y Niveles



Fuente: Autor propio

Análisis del Sistema de Flujo: Para realizar el esquema se tomó en cuenta los indicadores seleccionados del índice de Calidad Ambiental Urbana (ICAU), se realizó una conexión usando dos ecuaciones las cuales incorporan las variables de residuos sólidos aprovechados, residuos sólidos generados y residuos sólidos dispuestos adecuadamente, las cuales están expuestas en el modelo.

$$\% \text{Residuos sólidos aprovechados} = \frac{\text{Residuos sólidos aprovechados}}{\text{Residuos sólidos generados}} * 100$$

$$\% \text{Residuos dispuestos adecuadamente} = \frac{\text{R.S. Dispuestos adecuadamente}}{\text{Residuos sólidos generados}} * 100$$

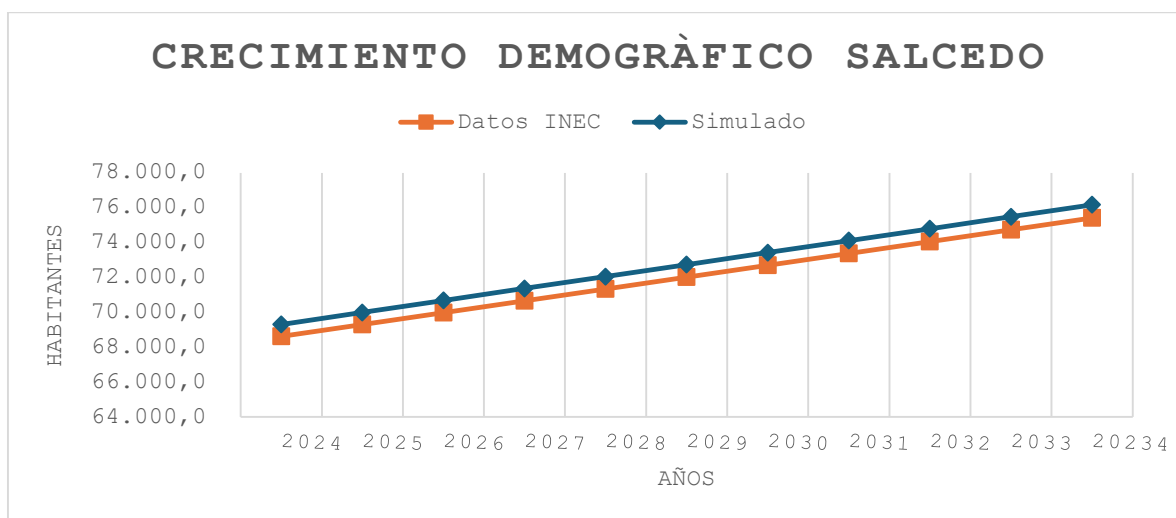
Para terminar con la creación del diagrama de niveles y flujos, se elaboró el modelo matemático, a través de ecuaciones de nivel, de flujo y auxiliares. A continuación, se realizó el análisis dimensional, herramienta que verifica la coherencia de las dimensiones (o unidades) en las dos partes de una ecuación, para determinar si ésta es realmente aplicable (Martínez, 2004).

9.2 Resultado Simulados

Se obtuvo una estructura cualitativa, donde se integró la información cuantitativa usando los datos recopilados durante la revisión bibliográfica. La simulación se realizó en el Software Vensim. Los primeros resultados se observaron a través del diagrama de niveles y flujos, así como del modelo matemático. Las variables utilizadas se aprecian en la **Tabla 5**, estos datos cumplen diferentes condiciones para cada variable, para lograr obtener los valores.

En primera instancia, la calibración implica optimizar todas las variables y flujos mediante la comparación de los comportamientos modelos con los obtenidos a partir de la revisión bibliográfica, en otras palabras, las tendencias identificadas. La verificación se centra en el análisis de los errores relativos y su ajuste para respaldar su minimización, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados futuros. Para este proceso se llevó a cabo un análisis de la primera variable denominada población, tomando en cuenta que esta variable tiene una mayor disponibilidad de información y constituye la base fundamental del modelo. Para evaluar si la variable sigue las tendencias reales se utiliza como referencia el año 2001 en el cual, según datos del INEC, la población urbana de Salcedo 51,304 personas, de igual manera se considera las tasas de incremento neto.

Figura 11. Datos reales contra simulación para afinar el modelo Vensim



Fuente: Autor propio

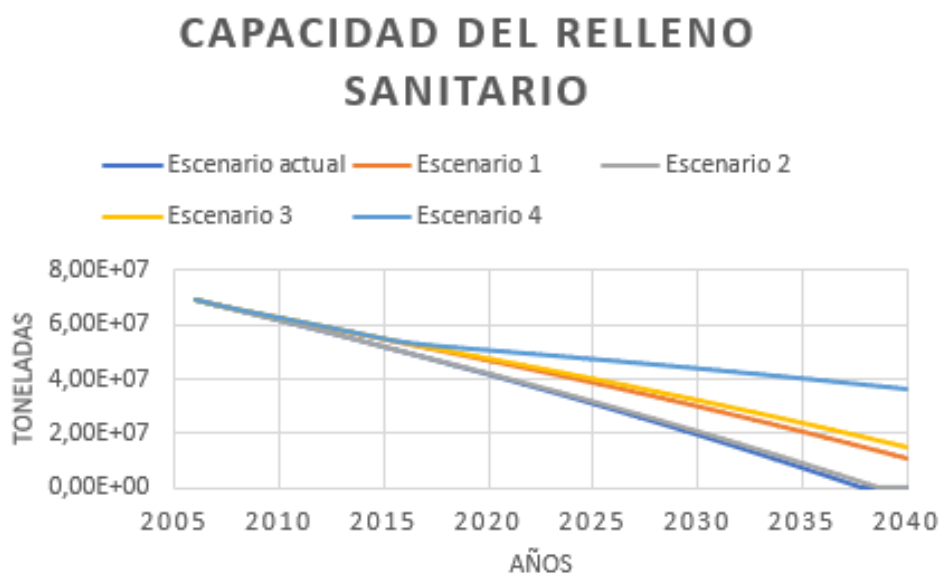
La gráfica proporciona una proyección del crecimiento poblacional de la ciudad de Salcedo, contrastando los datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) con un modelo de simulación. El eje X de la gráfica abarca desde 2024 hasta 2034, representando los años, mientras que el eje Y muestra la cantidad de habitantes. Las líneas en la gráfica están codificadas por colores: la línea naranja representa los datos oficiales del INEC, basados en censos y proyecciones, y la línea azul refleja los datos simulados, generados a partir de un modelo matemático que estima la población futura.

La interpretación de los resultados revela una tendencia alcista en el crecimiento poblacional para Salcedo durante el período analizado, con ambos conjuntos de datos, el oficial y el simulado, mostrando un patrón de incremento constante en el número de habitantes. La similitud entre las dos líneas indica que el modelo de simulación utilizado es bastante preciso, proporcionando una confianza razonable en las estimaciones futuras. La pendiente relativamente constante de ambas líneas sugiere una tasa estable de crecimiento, lo que podría implicar una constancia en los factores que impulsan el crecimiento, como la migración y la natalidad. No obstante, se observan pequeñas discrepancias entre los datos reales y los simulados, posiblemente debido a cambios imprevistos en las tasas de natalidad, mortalidad o migración, o a imprecisiones en el modelo de simulación.

El crecimiento poblacional proyectado conlleva varias implicaciones importantes para la planificación urbana y la gestión de recursos en Salcedo. Es esencial planificar el desarrollo urbano para satisfacer las crecientes necesidades de vivienda, infraestructura y servicios públicos. Además, el aumento de la población ejerce presión sobre los recursos naturales y los servicios públicos, requiriendo una evaluación exhaustiva de la capacidad de la ciudad para manejar estas demandas. También es crucial considerar el impacto socioeconómico del crecimiento, incluyendo nuevas oportunidades de empleo y negocios, así como la competencia por recursos y las presiones sociales resultantes. Para un análisis más profundo, sería útil investigar los factores específicos que impulsan el crecimiento poblacional, comparar la tasa de crecimiento con otras ciudades, y evaluar las implicaciones ambientales y las políticas públicas en curso.

9.1.3 Capacidad del Relleno Sanitario

El relleno sanitario de Salcedo se creó para gestionar una cantidad importante de residuos sólidos urbanos, con enfoque en una gestión eficiente y sostenible. Se estima que la vida útil prevista del vertedero será de entre 15 y 20 años, dependiendo del crecimiento de la población y la producción de residuos. Dicho esto, se llevó a cabo un análisis sobre la capacidad del relleno sanitario, el cual está representado en la siguiente figura. Donde se verificó que la capacidad del vertedero se ve impactada por el aumento exponencial del volumen de residuos acumulados. El relleno sanitario puede alcanzar su capacidad máxima mucho antes de lo previsto. Si es necesario, provocará importantes problemas medioambientales y logísticos.

Figura 12. Capacidades del relleno Sanitario

Fuente: Autor propio

La gráfica presentada ilustra la evolución proyectada de la capacidad de un relleno sanitario a lo largo de varios escenarios posibles, destacando la capacidad en toneladas en el eje Y los años en el eje X. La tendencia general observada en la gráfica es decreciente, indicando que la capacidad del relleno se está agotando con el tiempo. Esta disminución es esperada, dado que el depósito continuo de residuos reduce el espacio disponible en el relleno. Los diferentes escenarios presentados en la gráfica reflejan variaciones en la velocidad de agotamiento de la capacidad del relleno, influenciadas por factores como cambios en los hábitos de consumo, políticas de reciclaje implementadas y crecimiento poblacional.

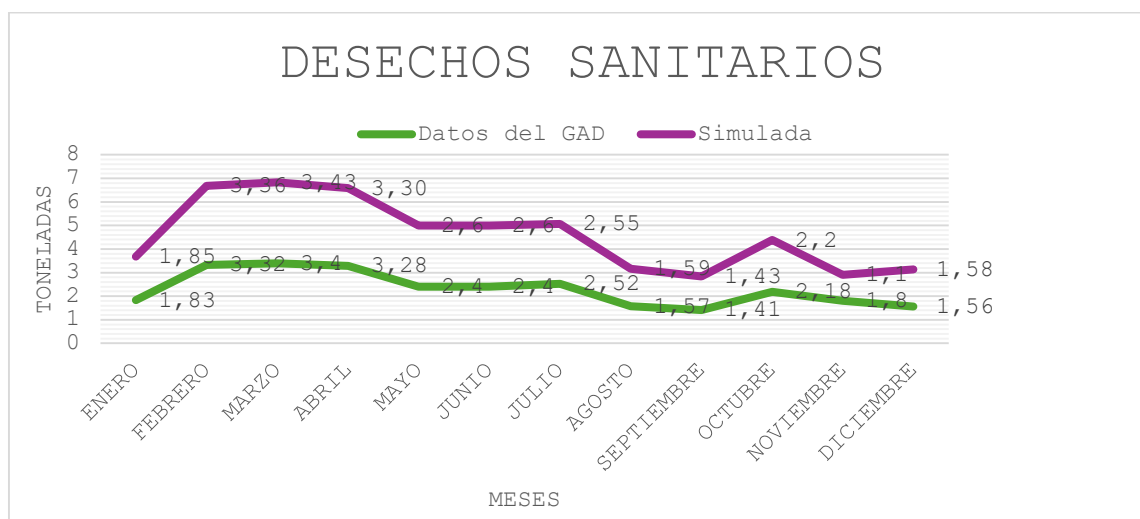
El análisis de los escenarios revela que, en todos los casos, la capacidad del relleno se agotará completamente antes del año 2040. La proyección del escenario actual indica que, si se mantienen las condiciones actuales de generación y gestión de residuos, el relleno alcanzará su capacidad total en un plazo relativamente corto. Los escenarios 1, 2, 3 y 4, por otro lado, probablemente representan diversas medidas o políticas propuestas para extender la vida útil del relleno, como la implementación de campañas de reciclaje, reducción de residuos o la construcción de nuevas celdas para almacenamiento.

Este análisis subraya la necesidad urgente de adoptar estrategias más sostenibles en la gestión de residuos sólidos. La diversidad de escenarios muestra que el futuro de la

capacidad del relleno no está fijado y que las decisiones actuales tendrán un impacto significativo en su sostenibilidad. Las recomendaciones incluyen la implementación de programas de reducción, reutilización y reciclaje, la optimización de los procesos de compactación y cobertura de residuos, la exploración de tecnologías alternativas para el tratamiento de residuos, y la planificación a largo plazo con un enfoque integral en la gestión de residuos. Para una comprensión más completa, sería beneficioso contar con información adicional, como la descripción detallada de cada escenario, datos sobre el crecimiento poblacional y la composición de los residuos, así como las políticas actuales y futuras en gestión de residuos.

9.1.4 Residuos sanitarios

Figura 13. Desechos Sanitarios



Fuente: Autor propio

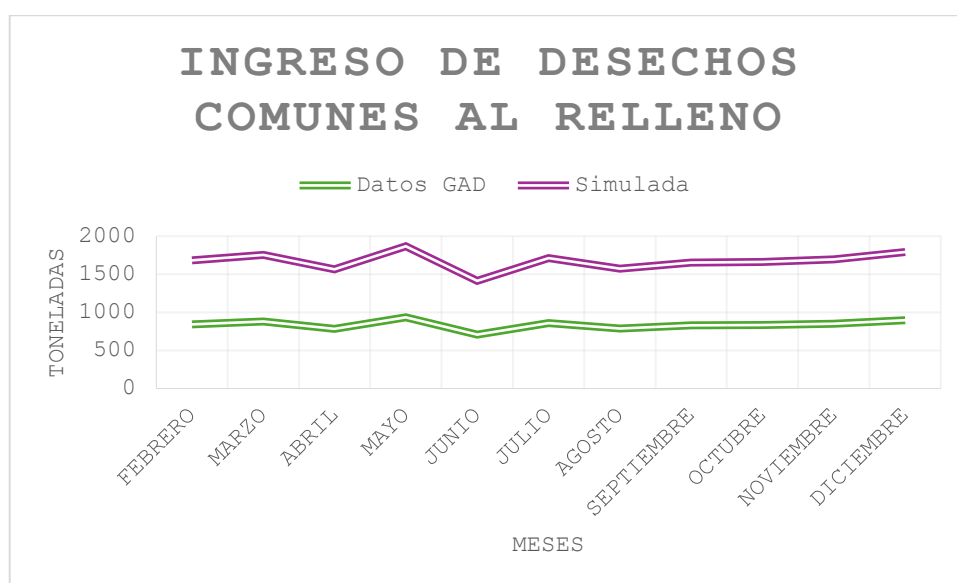
La gráfica expone la evolución mensual de la generación de desechos sanitarios a lo largo de un año, comparando los datos reales del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) con estimaciones proyectadas mediante un modelo matemático. El eje X muestra los meses del año, desde enero hasta diciembre, mientras que el eje Y indica la cantidad de desechos generados en toneladas. Las líneas en la gráfica se distinguen por colores: la línea naranja representa los datos reales reportados por el GAD, y la línea azul ilustra las proyecciones simuladas.

La interpretación de los resultados revela una tendencia fluctuante en la generación de desechos, con picos y valles a lo largo del año, lo que sugiere que la cantidad de desechos generados no es uniforme y puede estar influenciada por factores estacionales y eventos especiales. Aunque tanto los datos reales como los simulados muestran un ligero incremento en la generación de desechos hacia el final del año, las líneas presentan una correlación moderada, indicando que el modelo de simulación refleja algunas tendencias generales, pero no captura completamente todas las variaciones mensuales.

Para abordar estas variaciones y mejorar la gestión de los desechos, es crucial considerar varios factores influyentes. La estacionalidad, como las festividades y cambios climáticos, puede provocar aumentos en los desechos, mientras que eventos especiales y cambios en los hábitos de consumo también impactan la generación de residuos. Además, la efectividad de las políticas de gestión de residuos, como reciclaje y compostaje, puede influir en la cantidad de desechos. Con base en estos hallazgos, se recomienda refinar los modelos de simulación para obtener proyecciones más precisas, mejorar la planificación de la recolección y el tratamiento de desechos, e implementar políticas efectivas para reducir la generación de residuos y promover prácticas sostenibles.

9.1.5 Ingresos comunes al Relleno Sanitario

Figura 14. *Ingreso de desechos comunes al relleno*



Fuente: Autor propio

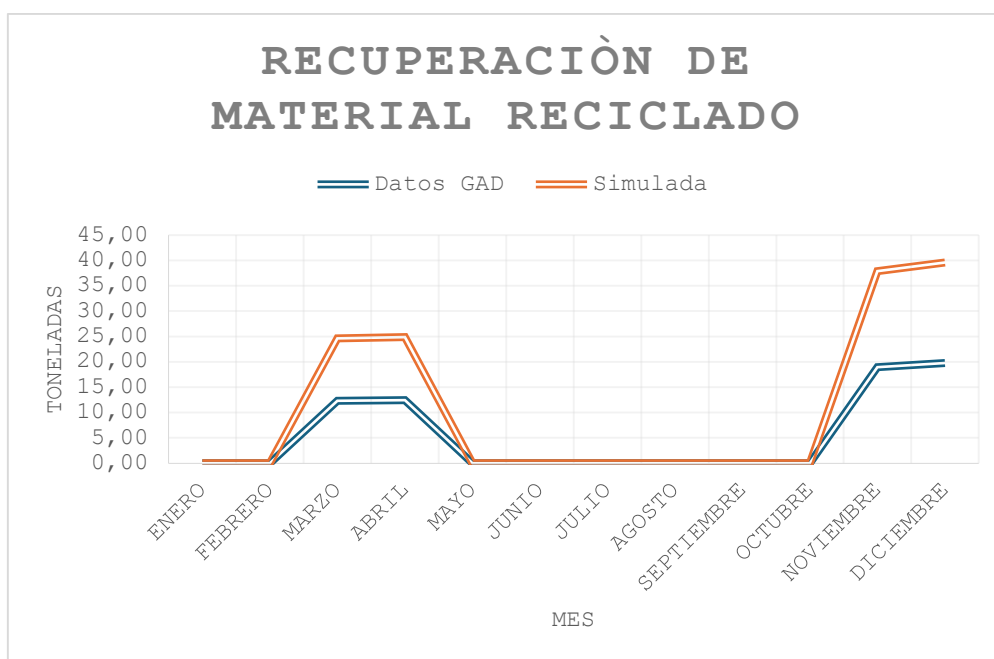
El vertedero de Salcedo plantea un problema importante para los residuos eliminados. Esto debe abordarse de manera proactiva, las proyecciones surgieron de que la generación de residuos está aumentando, lo que requiere planificación estratégica y mejoras en la gestión de residuos. El énfasis debe estar en mejorar las capacidades de recolección y procesamiento de desechos, al mismo tiempo recolección y procesamiento de desechos, al mismo tiempo que se promueven prácticas sustentables que minimicen el uso del relleno sanitario.

El crecimiento sostenible y eficiente del sistema de gestión de residuos de Salcedo depende de la implementación de tecnologías de tratamiento avanzadas y programas eficientes de reducción y reciclaje. Los datos reales muestran una variabilidad moderada a lo largo del año, con una tendencia a permanecer dentro del rango de 900 a 1200 toneladas por mes. En la línea de valores se aprecia que los picos y valles son menos prominentes, lo que indica un cierto nivel de producción de residuos a lo largo del año.

La línea de producción simulada muestra niveles consistentes más altos que los datos del GAD Municipal, que oscilan entre 1.500 y 2, 000 toneladas por mes. Muestra una gran variación con varios picos y caídas significativas en marzo, junio y noviembre.

9.1.6 Recuperación de Material Reciclado

Figura 15. *Recuperación de material reciclado*



Fuente: Autor propio

La gráfica muestra la evolución mensual de la recuperación de material reciclado durante un año, comparando los datos reales del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) con estimaciones proyectadas mediante un modelo matemático. El eje X representa los meses del año, desde enero hasta diciembre, mientras que el eje Y indica la cantidad de material reciclado recuperado en toneladas. Las líneas de la gráfica están diferenciadas por colores: azul para los datos reales proporcionados por el GAD, y naranja para los datos simulados por el modelo.

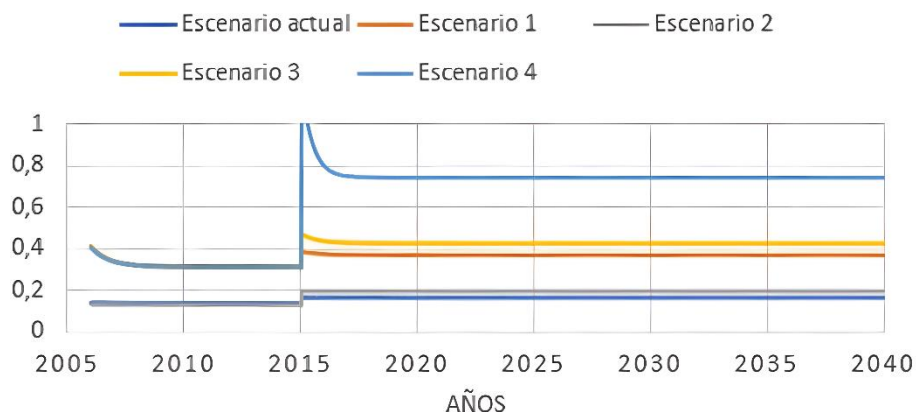
La interpretación general de la gráfica revela que tanto los datos reales como los simulados muestran una recuperación de material reciclado muy baja o nula en los primeros meses del año, con un incremento significativo a partir del mes 10. Este patrón sugiere que la recuperación de material reciclado se concentra en los últimos meses, lo que puede estar relacionado con campañas de concientización intensivas. Aunque las dos líneas siguen una tendencia similar, existen discrepancias notables durante los picos de recuperación, indicando que el modelo de simulación puede no capturar todos los factores que influyen en la recuperación de reciclables.

Entre los posibles factores que afectan la recuperación de material reciclado se encuentran las campañas de reciclaje, eventos especiales relacionados con el reciclaje, condiciones climáticas y la disponibilidad de infraestructura adecuada. Para mejorar la recuperación de reciclables, se recomienda fortalecer las campañas de reciclaje a lo largo del año, ampliar la infraestructura de recolección y procesamiento, incentivar la separación de residuos en la fuente y revisar el modelo de simulación para obtener proyecciones más precisas. Estas acciones contribuirán a una gestión más eficiente y efectiva del material reciclado.

Residuos aprovechados

Figura 17. *Indicador de Residuos Aprovechados*

INDICADOR RESIDUOS APROVECHADOS



Fuente: Autor propio

La gráfica presenta la evolución del porcentaje de residuos aprovechados a lo largo de varios escenarios desde el año 2005 hasta el 2040. En el eje X se representan los años, mientras que el eje Y muestra el porcentaje de residuos aprovechados. Cada línea en la gráfica corresponde a un escenario diferente, ilustrando cómo varía la tasa de aprovechamiento de los residuos bajo diferentes condiciones.

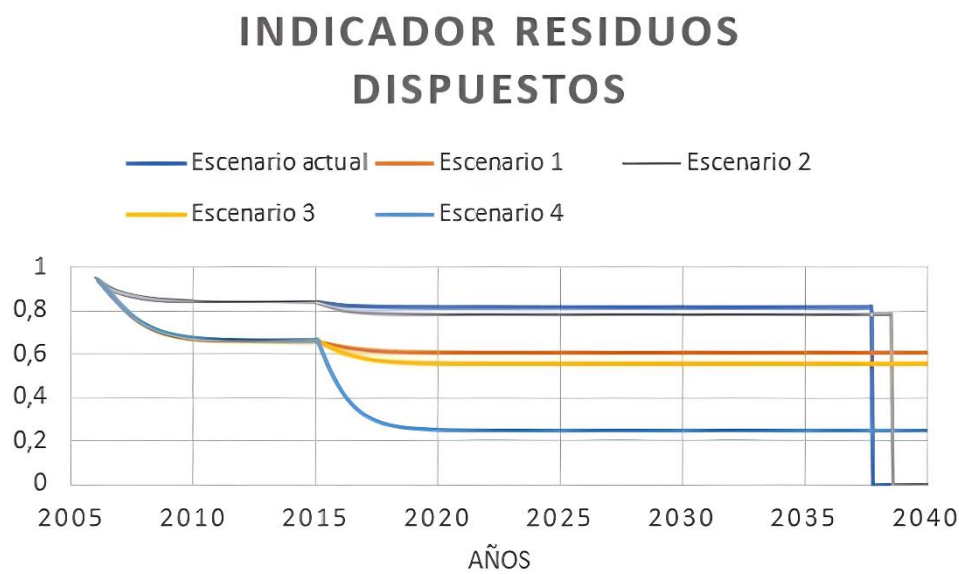
La interpretación general revela que todas las líneas exhiben una tendencia inicial de disminución en el porcentaje de residuos aprovechados, alcanzando un punto mínimo alrededor de 2015. Posteriormente, los porcentajes se estabilizan en niveles relativamente bajos. Este patrón indica que, a pesar de las fluctuaciones iniciales, la tasa de aprovechamiento no muestra una mejora significativa a largo plazo y se mantiene en un nivel bajo, sugiriendo que se ha alcanzado un equilibrio en la gestión de residuos que no ha sido suficiente para mejorar notablemente el aprovechamiento.

El análisis por escenario sugiere que el escenario actual refleja la tasa de aprovechamiento bajo las condiciones actuales, mientras que los escenarios 1, 2, 3 y 4 probablemente representan diferentes medidas o políticas destinadas a mejorar la recuperación de residuos, como campañas de reciclaje, mejoras en la infraestructura de recolección selectiva o incentivos económicos. Sin embargo, a pesar de la implementación de estas medidas, la gráfica muestra que la tasa de aprovechamiento sigue siendo baja y estancada. Esto subraya la necesidad de evaluar las políticas actuales,

implementar nuevas estrategias más efectivas, invertir en infraestructura adecuada, concientizar a la población y fomentar la participación del sector privado en la gestión de residuos.

Residuos dispuestos

Figura. 18 *Indicador de Residuos Dispuestos*



Fuente: Autor propio

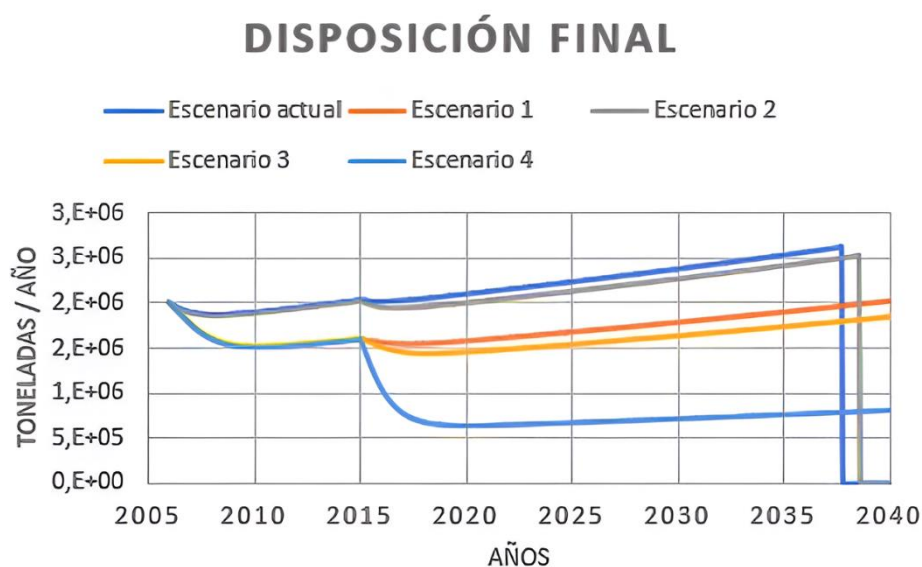
La gráfica presenta la evolución del indicador de residuos dispuestos desde el año 2005 hasta el 2040, mostrando varios escenarios posibles. En el eje X se representan los años, mientras que el eje Y indica el porcentaje de residuos dispuestos. Cada línea en la gráfica representa un escenario diferente, proporcionando una visión comparativa de cómo varía la disposición de residuos bajo distintas condiciones.

La interpretación general revela que todas las líneas muestran una tendencia de disminución en el porcentaje de residuos dispuestos hasta alrededor de 2015, momento en el que alcanzan un punto mínimo. Posteriormente, los porcentajes se estabilizan en niveles relativamente bajos. Esta estabilización sugiere que, a pesar de las fluctuaciones iniciales, se ha alcanzado un equilibrio en la gestión de residuos que, aunque mejorado, se mantiene en un nivel bajo. Los diferentes escenarios indican que, independientemente de las políticas o medidas adoptadas, la cantidad de residuos dispuestos disminuye en los primeros años y luego se estabiliza, evidenciando un patrón de reducción sostenido.

El análisis de los escenarios muestra que el escenario actual proyecta la tasa de disposición de residuos bajo las condiciones de gestión actuales. Por otro lado, los escenarios 1, 2, 3 y 4 parecen representar diferentes estrategias o políticas destinadas a reducir la cantidad de residuos dispuestos, tales como campañas de reciclaje, mejoras en la infraestructura de recolección selectiva, o incentivos para la separación de residuos. La gráfica indica que, aunque se ha logrado una reducción significativa, esta reducción se estabiliza a lo largo del tiempo, sugiriendo que las medidas adoptadas han sido efectivas pero que hay espacio para mejoras adicionales. Es crucial evaluar y ajustar las políticas actuales, invertir en infraestructura adecuada, y fomentar la participación del sector privado para continuar avanzando hacia una gestión de residuos más efectiva y sostenible.

Disposición final

Figura 19. Disposición Final



Fuente: Autor propio

La gráfica muestra la evolución de la cantidad de residuos dispuestos en un relleno sanitario desde el año 2005 hasta 2040, abarcando varios escenarios hipotéticos. En los primeros años, todas las líneas indican una disminución en la cantidad de residuos dispuestos, alcanzando un mínimo alrededor de 2015. Este descenso inicial sugiere que las medidas implementadas durante ese período han tenido un impacto positivo en la reducción de residuos. Sin embargo, a partir de 2015, los niveles de residuos dispuestos se estabilizan en cifras relativamente bajas en todos los escenarios, lo que implica que se

ha alcanzado un punto de equilibrio en la gestión de residuos. La estabilización sugiere que, a pesar de los esfuerzos iniciales, no se han logrado avances significativos en la reducción adicional de residuos dispuestos a lo largo del tiempo.

Los diferentes escenarios representan distintas medidas o políticas que podrían aplicarse para reducir aún más la cantidad de residuos dispuestos. Mientras que los primeros años muestran una reducción notable, la estabilización a largo plazo indica que las medidas actuales podrían no ser suficientes para lograr mejoras adicionales. Es crucial evaluar y ajustar las políticas existentes, implementar estrategias más agresivas como la promoción de la separación en la fuente, el reciclaje y el compostaje, y aumentar la inversión en infraestructura para la gestión de residuos. Además, la concientización pública y la participación del sector privado son fundamentales para fomentar la reducción de residuos. Este enfoque integral podría ayudar a continuar la tendencia de disminución y enfrentar los desafíos en la gestión de residuos futuros.

9.2 Discusión de Resultados

Según las evaluaciones realizadas y las simulaciones correspondientes, el indicador de residuos aprovechados muestra un desempeño constante del 42% en el escenario tres, mientras que el escenario uno mantiene un 37% y el escenario dos alcanza un 19.%. Según la ecuación 2, los valores elevados del indicador de residuos dispuestos indican que una proporción significativa de los residuos generados se destinan a disposición final, cuando el objetivo es maximizar el aprovechamiento de los residuos y reducir la cantidad que se envía a los rellenos sanitarios. En este contexto, el escenario actual presenta un 81.37% de residuos dispuestos adecuadamente, el escenario 2 muestra un 78.08%, el escenario 1 un 61.29% y el escenario 3 un 55.95%.

En términos de mejora, el escenario dos exhibe un incremento del 3.41% en el aprovechamiento de residuos, lo que no resulta significativamente diferente del escenario actual. En contraste, el escenario uno enfoca esfuerzos en mejorar la separación en la fuente, extendiendo así la vida útil del relleno sanitario y reflejando una mejora del 21% en el aprovechamiento de residuos, con un 20.09% en residuos dispuestos. El escenario tres, que combina estrategias de los escenarios anteriores, muestra un aumento del 26%, y comparado con el escenario actual, el aprovechamiento de residuos mejora al 25.44%.

Finalmente, el escenario cuatro, con un incremento del 33.41% en el aprovechamiento total y un enfoque en la separación en la fuente, ofrece los mejores resultados. Para 2040, este escenario proyecta un espacio disponible para 36,365.900 toneladas de residuos, 21,431.900 toneladas más que en el escenario 3, alcanzando un 74.54% en aprovechamiento de residuos y un 24.54% en residuos dispuestos adecuadamente.

Según (Méndez Rivera, 2021), la gestión de residuos en América Latina y el Caribe se centra en la recolección y disposición final, desestimando otras variables del sistema,. El Cantón Salcedo enfrenta problemas similares debido a la falta de un análisis integral de residuos, por lo que es imperativo desarrollar estrategias que aumenten el aprovechamiento de residuos y reduzcan la disposición final.

9.2.1 Análisis de mejora en el sistema de gestión Integral de Residuos Sólidos

Según el Gobierno Nacional, existen diversas formas de optimizar el manejo de los residuos sólidos en el cantón Salcedo, agrupadas en cuatro categorías principales. La primera categoría incluye métodos para reducir la producción de desechos, minimizar la cantidad dispuesta y fomentar la reutilización, reciclaje y tratamiento de estos. La segunda categoría se centra en la población y busca implementar estrategias educativas sobre el tema. La tercera categoría se dirige a otros actores y pretende que cada participante en la gestión asuma responsabilidades y actúe para mejorar el proceso. Finalmente, la cuarta categoría busca que las autoridades ambientales impongan controles rigurosos sobre cada actividad relacionada con la gestión de los residuos sólidos (Camacho, 2019). Estas estrategias son esenciales para el sistema, ya que permiten reducir la generación de desechos, aumentar la separación y aprovechamiento, disminuir la contaminación y extender la vida útil del vertedero sanitario (Vallejo Santamaría, 2024).

El análisis de los distintos escenarios muestra que la opción que aumenta la separación en la fuente (Escenario 1) ofrece mejores resultados que el Escenario 2, que se enfoca en un mayor aprovechamiento de los residuos. Esto indica que es crucial que Arcadia se enfoque, inicialmente, en el segundo grupo de estrategias, es decir, en la educación de la población.

Como varios autores han señalado, para obtener buenos resultados es vital sensibilizar a la población sobre los residuos generados en cada actividad diaria e incentivar su participación activa en el sistema de gestión (Vallejo Santamaría, 2024).

La administración anterior intentó clasificar los residuos ordinarios en bolsas negras y los reciclables en bolsas verdes, lo que puede explicar el aumento del 5,16% en el aprovechamiento de residuos entre 2016 y 2017.

Se deben desarrollar estrategias más robustas que busquen una clasificación más rigurosa de los residuos, separando la materia orgánica de los desechos ordinarios y el plástico del papel y cartón. Además, es evidente que se debe aumentar el número de personas que realicen separación en la fuente para que toda la gestión sea más eficiente.

Crear políticas públicas efectivas debe ser el primer paso para lograr cambios significativos en el sistema de gestión de residuos sólidos en el cantón Salcedo. Esto requiere el interés, la inversión y la coordinación de las autoridades locales, quienes están a cargo de este servicio, y de todas las instituciones involucradas en la gestión (Fiallos Avila, 2022).

Asimismo, es necesario contar con el respaldo de las autoridades ambientales para asegurar que cada actividad relacionada con la gestión de residuos se realice adecuadamente para que no afecte negativamente la calidad ambiental urbana.

Siguiendo con las estrategias, la Alcaldía debe promover la educación a la población y buscar la reducción de la cantidad de residuos dispuestos mediante incentivos para empresas dedicadas al reciclaje, tratamiento, reutilización o aprovechamiento de desechos. Es fundamental educar a los recicladores en gestión empresarial y en el Registro Único de Recicladores de Oficio (RURO), así como planificar adecuadamente el proceso de formalización y proporcionar mecanismos más eficaces para la recolección selectiva (Vallejo Santamaría, 2024).

Estas estrategias abordarán los problemas principales del sistema de gestión de residuos en Salcedo, como la informalidad. En algunos países de América Latina y el Caribe, aún se observan personas trabajando en las calles separando residuos que no se segregan en los hogares (Sáez, 2014).

La formalización de los recicladores es crucial, ya que permite organizar toda la cadena, desde la recolección hasta la comercialización de los nuevos productos, teniendo en cuenta aspectos como las rutas selectivas, la sectorización de la ciudad y el establecimiento formal de centros de acopio, transferencia, reciclaje y aprovechamiento (Vallejo Santamaría, 2024).

Es también importante que el GAD Municipal considere los registros existentes sobre la cantidad y características de los residuos sólidos generados en la ciudad y los que llegan al relleno sanitario (Sáez, 2014). Con base en estos datos, se debe planificar adecuadamente el sistema de gestión y considerar estrategias alternativas al relleno sanitario, como la incineración de ciertos residuos (Hernández Sánchez, 2012).

Según (Acevedo Acero, 2024), en los últimos años se han desarrollado diferentes modelos para la gestión de residuos sólidos, vinculando variables sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones. Sin embargo, es importante tener en cuenta que todos los modelos tienen limitaciones, ya que asumen ciertas variables y no consideran todo el proceso. En el cantón Salcedo, como en otras ciudades de América Latina y el Caribe, uno de los mayores desafíos en la gestión de residuos sólidos es el cambio de administración, que genera discontinuidad en los procesos (Sáez, 2014).

9.2.2 Estrategias de mejora de la gestión de residuos sólidos

Para promover la separación en la fuente, Vallejo y Santamaría, (2024), sugieren implementar programas educativos que subrayen la importancia de esta práctica. Esto incluye distribuir contenedores de reciclaje y compostaje a los hogares, así como optimizar la recolección de residuos, tal como indican (Acevedo Acero, 2024). Además, se recomienda emplear tecnologías de monitoreo y establecer rutas eficientes para la recolección, junto con horarios claros y organizados para el servicio.

En cuanto a impulsar la economía circular MacArthur, (2013), propone colaborar con empresas locales para desarrollar programas de reciclaje y reutilización. Es esencial también establecer sistemas de depósito y retorno para envases, lo que fomentaría la reutilización de materiales. Por otro lado, (Vallejo Santamaría, 2024), resalta la importancia de implementar tecnologías innovadoras, como sensores y sistemas de monitoreo inteligentes, para una gestión eficiente de residuos. La integración de

inteligencia artificial podría ayudar a predecir patrones de generación de residuos, facilitando así la planificación y manejo adecuado.

Además, involucrar a la comunidad es crucial. Organizar eventos comunitarios y campañas de concientización, así como establecer programas de voluntariado para la limpieza y gestión de desechos, fomenta la participación ciudadana. También es fundamental apoyar a los recicladores informales mediante la legalización de su participación en la cadena de gestión de residuos y proporcionando capacitación y equipo de seguridad para mejorar sus condiciones laborales.

Otra estrategia importante es aplicar tarifas diferenciales, según Vallejo y Santamaría, (2024). estableciendo sistemas que ofrezcan incentivos para la reducción de residuos. Esto puede incluir ofrecer descuentos a los hogares que participen activamente en programas de reciclaje.

Desarrollar infraestructuras sostenibles es otro aspecto clave, Castro, (2018), señala la necesidad de mejorar la infraestructura para la clasificación y procesamiento eficiente de residuos, así como de construir instalaciones de tratamiento que prioricen la sostenibilidad.

Finalmente, realizar auditorías y evaluaciones periódicas del sistema de gestión de residuos es esencial. Estas auditorías permiten evaluar el impacto ambiental y la eficacia de las iniciativas implementadas, asegurando que se mantenga la efectividad y se realicen ajustes necesarios para mejorar el sistema en su conjunto.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

El proceso de optimización del sistema de gestión de residuos del GAD Municipal de Salcedo, mediante la implementación de un sistema dinámico en 2024, ha permitido cumplir con los objetivos planteados, orientados a mejorar la eficiencia en el manejo de desechos, reducir el impacto ambiental y elevar la calidad de vida de la comunidad.

En primer lugar, el diagnóstico de la situación actual del sistema de gestión de residuos en el Cantón Salcedo identificó deficiencias clave y áreas de oportunidad que se convirtieron en el punto de partida para la mejora. Este análisis reveló la necesidad de

actualizar la infraestructura, optimizar los procedimientos de recolección y disposición, y promover prácticas más eficaces de separación y reciclaje.

En segundo lugar, se desarrolló un plan integral basado en un sistema dinámico que aborda todas las fases de la gestión de residuos, desde la recolección hasta el tratamiento y disposición final. Este plan no solo prioriza la sostenibilidad ambiental, sino que también incrementa la eficiencia operativa, asegurando que la gestión de desechos se realice de manera efectiva y con el menor impacto ambiental posible. La incorporación de las mejores prácticas y tecnologías disponibles garantizó un enfoque moderno y adaptable a las necesidades del cantón.

Finalmente, la implementación del nuevo sistema dinámico de gestión de residuos mostró ser efectiva en la reducción de la contaminación, mejorando así la calidad de vida de los habitantes de Salcedo. Además, el fortalecimiento de las capacidades del GAD Municipal fue evidente, con un seguimiento constante de los indicadores clave de desempeño, permitiendo ajustes oportunos y la documentación de mejoras continuas. Este enfoque sistemático no solo contribuyó a alcanzar los objetivos propuestos, sino que también sentó las bases para la sostenibilidad y eficiencia futuras en la gestión de residuos en el cantón.

10.2 Recomendaciones

Fortalecer la infraestructura existente, es recomendable continuar con la actualización y expansión de la infraestructura de gestión de residuos en el Cantón Salcedo. Esto incluye la adquisición de tecnología avanzada y el mejoramiento de las instalaciones de recolección, tratamiento y disposición final de desechos, garantizando así una mayor capacidad operativa y eficiencia en el manejo de residuos.

Fomentar la educación y sensibilización comunitaria, es esencial desarrollar campañas de concienciación dirigidas a la comunidad sobre la importancia de la separación de residuos en la fuente y el reciclaje. La educación ambiental debe ser un pilar fundamental para asegurar que los ciudadanos participen activamente en el sistema de gestión de residuos, lo que a su vez contribuirá a la sostenibilidad y eficiencia del mismo.

Implementar programas de monitoreo y evaluación continua, para asegurar que el nuevo sistema dinámico de gestión de residuos mantenga su efectividad, es recomendable establecer programas de monitoreo y evaluación continua. Estos programas deben incluir el seguimiento de indicadores clave de desempeño y la realización de auditorías periódicas para identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias según sea necesario.

Promover alianzas estratégicas, se recomienda fomentar la colaboración con otras entidades gubernamentales, ONGs y el sector privado para fortalecer las capacidades del GAD Municipal. Estas alianzas pueden facilitar el acceso a recursos adicionales, tecnologías innovadoras y buenas prácticas, contribuyendo al éxito a largo plazo del sistema de gestión de residuos.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, I. (2021). El enfoque del dinamismo encarnado está en mejor posición que el conexionismo, para el estudio de los estados mentales, de acuerdo con una visión funcionalista. *Universidad de Chile*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/197785>
- Acosta, N., Villacis, H., & Boada. (2021). Analisis del estado Actual del manejo y gestion de los desechos sólidos en la zona urbana del cantón Salcedo. *Renpys*, 74-85.
- Acurio, J., & Andrango, R. (2021). Modelo de simulación para la optimización de rutas de transporte de recolección de basura en la ciudad de Latacunga. *Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas*. Obtenido de <http://190.15.139.149/index.php/ciya/article/view/369>
- Aldas, D., & Calero, L. (2024). Modelo matemático de optimización basado en los objetivos ambientales para la industria de manufactura del Ecuador. *Universidad de Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/41300>
- Alvarez, J. (2023). Diseño de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo basado en la norma ISO 45001:2018 y optimización de los procesos del sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:2015 para prevenir los riesgos laborales y mejorar la sosteni. *Universidad ESAN*. Obtenido de <https://repositorio.esan.edu.pe/items/b5dd8fbc-8150-4128-b89f-4e39a13c778e>
- Álvarez, R. M., Quen, P. M., & Reyes, W. D. (2020). Manejo de residuos peligrosos biológicos e infecciosos en una escuela de química de nivel superior. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 10(20).
- Argudo, N. (2021). Análisis de estabilidad y caos en sistemas dinámicos económicos con aplicación a la economía panameña. *Universidad de Panama*. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/2381>
- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ,2018. (s.f.). *Gestion Integral de Residuos*. <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>.

- Ávila, S. L., Nieto, M. S., Jiménez, D. C., & Osorio, J. C. (2011). *Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas*. Colombia: Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas.
- Barrera, I., Garcia, G., & Mendoza, C. (2021). Los rellenos sanitarios, una solución paliativa a la problemática de residuos sólidos en Zamora, Michoacán, México. *LATAM IV*. Obtenido de <https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/170>
- Beatriz, A. & (2017). *Sistemas y Modelos*. Ecuador: <https://institucional.us.es/revistas/argumentos/20/06%20ARTEric.pdf>.
- Becerra, G. (2016). *La Teoría de los Sistemas Complejos*. Ecuador: <https://www.redalyc.org/journal/105/10562755007/html/>.
- Blanco, N. (2022). Optimización de la gestión ambiental y económica del recurso energético biomasa para la generación de energía. *Revista Fuentes energeticas*. Obtenido de [file:///E:/Dialnet-OptimizacionDeLaGestionAmbientalyEconomicaDelRecurso8597300%20\(1\).pdf](file:///E:/Dialnet-OptimizacionDeLaGestionAmbientalyEconomicaDelRecurso8597300%20(1).pdf)
- Briones, R. (2020). Evaluación del aprovechamiento integral de los residuos sólidos de las centrales de abasto en áreas metropolitanas de Latinoamérica. *Universidad Autónoma de Nuevo León*. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/19894/>
- Burgos, L. (2022). Propuesta de sostenibilidad energética e hídrica por medio de un proceso de proyección de consumo mediante el uso del software Vensim. *Universidad Libre*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/21702>
- Campaña, M. (2024). Manejo de los residuos sólidos urbanos en el cantón Ambato al año 2022. Desafíos hacia la gestión integral. *FLASCO ANDES*. Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/21277>
- Cavalier, J. M. (2019). *Propuesta de diseño de contenedor ecológico inteligente, para mejorar la gestión de residuos sólidos urbanos en el distrito de Villa El Salvador*.

- Ceballos, M. (2021). Aparición de oscilaciones autosostenidas en una ruta metabólica hipotética regulada por un bucle de retroalimentación positiva. *Revistas Académicas*. Obtenido de <https://revistas.intec.edu.do/index.php/cite/article/view/1988>
- Código Organico Administrativo. (2017). Obtenido de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2021-02/CodOrgAdm.pdf>
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización . (2010). Obtenido de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-10/CODIGO-ORGANICO-DE-ORGANIZACION-TERRITORIAL-COOTAD.pdf>
- Condor, P. F., & Lima, A. E. (2017). *“Prospective model for the management of solid waste from the district of pampas of the province of tayacaja.*
- Consejo Nacional de Política Económica y Social - CONPES -. (2016). *CONPES 3874- Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos*. Departamento Nacional de Planeación, 73.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>.
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *Constitución de la Republica del Ecuador*. Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>.
- Contreras, E. (2018). *Residuos*. Ecuador: CEPAL. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>
- Contreras, E., Galvez, A., Pacheco, J., & Rondón, E. (2021). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. *Repositorio Cepal*. Obtenido de

<https://repositorio.cepal.org/entities/publication/e2967856-0743-4099-a92a-6a4d8b93807a>

- Cova, W. J. (2016). *Simulación*. Ecuador: https://www.academia.edu/35733918/Sistemas_Modelos_Simulaci%C3%B3n_y_un_toque_de_Epistemolog%C3%ADa.
- Davila, C. (2023). Propuesta de tratamiento de residuos como base para la gestión integral y sostenible de residuos sólidos para la ciudad de Chachapoyas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*. Obtenido de <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/819>
- De Leo, E., Aranda, D., & Addati, G. A. (2020). *Introducción a la dinámica de sistemas* (No. 739).
- Díaz, & Martínez. (2019). *Análisis de la dinámica de sistemas*. Ecuador: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n38/a19v40n38p19.pdf>.
- Díaz, M., Guerrero, E., Neira, M., Garcia, R., & Londoño, L. (2019). *Análisis de la dinámica de sistemas en el software Vensim*. Ecuador. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a19v40n38/19403819.html>
- Dies, N. (2021). Diseño de proyecto para reciclaje de poliestireno expandido (EPS) en la ciudad de Huesca. *Universidad de Zaragoza*. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/111756>
- Duarte, N. (2024). Gestión Integral de Residuos Sólidos Segregados en la Fuente de Generación y la Economía Circular Municipal Perú periodo – 2022. *Universidad Ricardo Palma*. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7837>
- Ecociencia. (2021). Jerarquía de residuos. Conoce los cinco niveles. *Ecociencia*. Obtenido de <https://econscienciamx.com/blogs/blog-ecociencia/jerarquia-de-residuos-estos-son-los-cinco-niveles>
- ECOLEX. (2015). Acuerdo N° 61 - Reforma el Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

Obtenido de <https://www.ecolex.org/details/legislation/acuerdo-no-61-reforma-el-libro-vi-de-la-calidad-ambiental-del-texto-unificado-de-la-legislacion-secundaria-del-ministerio-del-ambiente-lex-faac155124/#:~:text=El%20presente%20Acuerdo%20reforma%20el%20Libro%20VI%2>

EPA, Agencia de Protección Ambiental de los Estados. (2020). *Mejores prácticas para la gestión de residuos sólidos: Una guía para los responsables de la toma de decisiones en los países en vías de desarrollo*. Ecuador. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-02/documents/swm_guide-spanish-reducedfilesize_pubnumber_october.pdf

Espinoza, A. (2021). La economía circular, una alternativa de gestión ambiental para el manejo y disposición de residuos sólidos en Panamá. *Revista Plus economía*. Obtenido de <https://revistas.unachi.ac.pa/index.php/pluseconomia/article/view/502>

Forrester, R. (2014). Ecuador: https://es.wikipedia.org/wiki/Forrester_Research.

Gálvez, A. (2018). *gestión de residuos*. Ecuador: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>.

García, G. (2021). Modelación dinámica del comportamiento hidrológico de un humedal urbano bajo condiciones del fenómeno ENSO. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262020000200032&script=sci_arttext

García, J. M. (2023). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas: Dinámica de Sistemas con VENSIM PLE*.

Giraldo, M., Espinoza, D., & Arenas, A. (2021). *System dynamics modeling for municipal solid waste management: A case study in Santiago, Chile*. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 32-39. (Vol. 12). (7, Ed.) Lima Peru: IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications,. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/353687006_System_Dynamics_Modeling_for_Solid_Waste_Management_in_Lima_Peru

Goicochea Cardoso, O. C. (2015). *Evaluación ambiental del manejo de residuos sólidos domésticos en La Habana*. La Habana, Cuba.

Gómez, J. (2021). Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y su Impacto Medioambiental. *Revista ciencia multidisciplinar*. Obtenido de <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/135>

Gómez, J., & Delgado, J. (2020). Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y su Impacto Medioambiental. *Revista de ciencia Multidisciplinar*. Obtenido de <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/135>

Guerrero, A., Maas, G., & Hogland, W. (31 de julio de 2015). Desafíos en la gestión de residuos sólidos para las ciudades de países en desarrollo. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(2), 141-168. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000200141

Guerrero, G. (2021). La Implementación de una red neuronal y un modelo de forrester para la predicción entre factores demográficos y agentes contaminantes. *Scientia et Technica*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8895235>

Haza, J. (2021). Objeto de investigación y campo de acción: componentes del diseño de una investigación científica. *EDUMECENTRO*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2077-28742020000300241&script=sci_arttext

Heredia, S., Gavilanes, A., & Heredia, F. (2020). *Manejo integral de residuos hospitalarios peligrosos—“Caso de Estudio Padre Alberto Bufonni, Ecuador”*.

Hernandez Sampieri & Mendoza Torres. (2018). *datos numericos*. Ecuador: https://imedea.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_II_cod101606/M%C3%B3dulo%203.%20

La%20desertificaci%C3%B3n%20como%20sistema/Manejo%20del%20programa%20Vensim/Manual%20del%20programa%20Vensim.pdf.

Hernández Sánchez, M. (2012). *Estudio y propuesta de mejora del sistema de reciclado de residuos sólidos urbanos en la comarca de Utiel-Requena de Valencia*. Valencia.

Hernandez, R. (2021). Plan de manejo integral de residuos sólidos para el conjunto residencial Ambarí en la ciudad de Montería. *Universidad de Cordova*. Obtenido de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/253216fb-beff-40ba-a6c5-6067ca3c09c4>

Hernandez-Sampieri, R. &.-T. (2018). *La Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw Hill.

Hinojoza, D. (2024). Aplicación de estrategias de compras para mejorar la gestión de compras del servicio de evacuación de. *Universidad de San Marcos*. Obtenido de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/967118be-e96f-4020-ba12-ca6bde6eac17/content>

Hoorweg, D., & Bhada, T. P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. En D. &.-T. Hoorweg, *What a waste: a global review of solid waste management*.

Huamani, C., & Tudela, J. (2021). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572020000100106&script=sci_arttext

Huancoto, R. (2021). Diseño de relleno sanitario implementando geomembrana para la disposición final de residuos sólidos en Acora-Puno 2020. *Universidad Cesar Vallejo*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60004>

Ibarra, D., & Redondo, J. (2015). *Dinámica de sistemas, una herramienta para la educación ambiental en ingeniería*. Ecuador: Luna Azul. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742015000200009

- Ibarra, L. B., Narváez, C. M., & de la Rosa, A. (2020). Análisis de la disposición de los desechos sólidos y generación de biogás en el relleno sanitario de Ambato. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 988-1006.
- Ibarra, V., & Rodríguez, A. (2019). *Modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos ordinarios de la ciudad de Bogotá y su influencia en el índice de calidad ambiental urbana*. Bogota: <https://doi.org/10.22490/21456453.2411>.
- Izquierdo, C. (2023). Software de gestión de recogida de. *Universidad de la Laguna*. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/33943/Software%20de%20gestion%20de%20recogida%20de%20residuos%20Recycling%20Planner.pdf?sequence=1>
- Jimenez, L. (2020). Impacto de la investigación. *Revista Tech*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Ledys-Jimenez/publication/352750927_IMPACTO_DE_LA_INVESTIGACION_CUANTITATIVA_EN_LA_ACTUALIDAD/links/60d66a7b299bf1ea9ebe5113/IMPACTO-DE-LA-INVESTIGACION-CUANTITATIVA-EN-LA-ACTUALIDAD.pdf
- Jordi Pon, 2019. (s.f.). *Instrumentos para la implementación efectiva*. Ecuador : https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion_de_residuos_-_jordi_pon.pdf.
- Juan Carlos Paez, 2019. (s.f.). *Elementos de Gestión Ambiental*. Ecuador: <https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2018/11/GESTION-AMBIENTAL-ilovepdf-compressed.pdf>.
- Kaza, S. Y., Bhada, T. P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. . En S. Y.-T. Kaza. World Bank Publications.
- León, J., Granda, I., & Lorente, L. (2021). Optimización de la recolección de residuos sólidos urbanos bajo un enfoque de Sistemas de Información. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*. Obtenido de

<https://www.proquest.com/openview/a2803956d6c8a33b6d862dd6708e284b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>

López, T. (2023). Implementación del plan de manejo integral de residuos sólidos (PMIRS) en flores el trigal S.A.S sede caribe. *Universidad de Antioquía*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/37797>

MacArthur, E. (2013). *Towards the circular economy*. . Journal of Industrial Ecology.

Macha, E. (2023). Percepción del riesgo de habitar en las inmediaciones de un sitio de disposición final de residuos sólidos, El Salto, México. *Revista de Ciencias Ambientales*. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-38962023000200004&script=sci_arttext

Mamali, J. (2021). Determinación de la Eficiencia en la Gestión de Residuos Sólidos en las Municipalidades Distritales de la Región de Puno - Perú. *Revista de ciencia muldisiplinar*. Obtenido de <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/93>

Martínez, J. (2004). *Análisis Dimensional: Apuntes de Mecánica de Fluidos*. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón. Gijón, España.: Universidad de Oviedo.

Mendez & Astudillo. (2018). *rutas cuantitativa cualitativa*. Ecuadoc: http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf.

Mendieta, r., Giler, J., Menéndez, C., & Macías, R. (2020). *Estudio sobre el manejo de desechos sólidos del área urbana en la parroquia Membrillo, cantón Bolívar*. Ecuador: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1285>.

Montesinos, C., & Tudela, J. (2020). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572020000100106&script=sci_arttext

- Moreno, J., Moral, R., Pascual, & Bernal, M. (2019). *De residuos a recursos. El camino hacia la sostenibilidad*. Ecuador: Mundiprensa.
- Moreno, K., & Freire, G. (2021). Cadena de suministros verde. *Revista de ciencias sociales*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081773>
- Moreno, K., & Freire, G. (2021). Cadena de suministros verde análisis estratégico de la gestión de residuos sólidos en Pelileo-Ecuador. *Revista de ciencias sociales*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081773>
- Moreno, K., Freire, G., & Moreno, A. (2021). Cadena de suministros verde análisis estratégico de la gestión de residuos sólidos en Pelileo-Ecuador. *Revista de ciencias sociales*,. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081773>
- Moreno, M. (2022). Propuesta de optimización del sistema de recolección de los residuos sólidos en la ciudad de Riobamba. *Escuela politecnica de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/21082>
- Moreno, W., Logroño, J., & Quezada, J. (2021). Residuos sólidos en la ciudad de macas, Ecuador. *Revista científica de Dominio de las ciencias*. Obtenido de <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2207>
- Neira, L., & Huber, D. (2022). *Modelamiento de sistemas blandos con herramienta Vensim en el aprendizaje*. Ecuador: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/121852/Lazo_ND_H-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Neira, M. (2019). *Análisis de la dinámica de sistemas en el software Vensim*. Ecuador: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n38/19403819.html>.
- Nieto, C., & Guaman, V. (2021). Optimización en la gestión de los residuos sólidos domiciliarios en el área urbana del cantón la Mana, provincia de Cotopaxi = Otimização na gestão de resíduos sólidos domiciliares na zona urbana do cantão de La Mana, província de Cotopaxi. *Dugidocs*. Obtenido de <https://dugidoc.udg.edu/handle/10256/24790>

- Ocampo, S. (2022). Análisis del comportamiento dinámico de diafragmas prefabricados. *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80227>
- Oliva, J. (2020). Validación de un modelo de logística inversa para la recuperación de los RAEE de la ciudad de Cali, basado en el Pensamiento Sistémico usando una simulación con Dinámica de Sistemas. *TecnoLógicas*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-77992020000200055&script=sci_arttext
- ONU Medio Ambiente. (2017). *Instrumentos para la implementación efectiva y coherente de la dimensión ambiental*. Ecuador: Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL. Obtenido de https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion_de_residuos_-_jordi_pon.pdf
- Orosco, Y., & Pulgarín, F. (2021). Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia. *Tecnológico Antioquia*. Obtenido de <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/808>
- Pacheco, A., & Porras, I. (2021). Dispositivo para la clasificación de residuos sólidos y medición de huella ecológica. *Revista habitus semilleros*. Obtenido de https://revistas.uptc.edu.co/index.php/semilleros_investigacion/article/view/12181
- Parpuezan, V., & Revelo, A. (2023). Estrategias Pedagógicas para Fortalecer la Cultura Ambiental Frente a la Contaminación por Residuos Sólidos en los Estudiantes de Primaria de la Sede Indígena Awá, La Brava. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*,. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9137959>
- Perez, A., & Rodriguez, F. (2022). Flujo, clasificación y potencial de reciclaje de residuos sólidos urbanos en una localidad cuya principal actividad es la agricultura. *Acta universitaria*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662022000100120&script=sci_arttext

- PGIRS . (2016). *Documento técnico de soporte de un plan de Gestión*. Bogota: <https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/Documento%20t%C3%A9cnico%20PGIRS%20011116.pdf>.
- Pilar, T. E., Campani, D., & Sarafian, D. (2018). *Geston Intergral de residuos Sólidos*. Ecuador: Tribunal Superior de Justicia Electoral “TSJE” de Paraguay, y AIDIS Paraguay. Obtenido de <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>
- Pinto, A., & Gonzalez, E. (2022). Sistema de gestión de energía para una microrred con almacenamiento en baterías e incorporación de biomasa. *TecnoLógicas*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-77992022000200206&script=sci_arttext
- Porras, A. P. (2018). *Residuos sólidos en el municipio de Chía vs crecimiento poblacional un indicador ambiental*. Bogota: http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/130781010/html/#redalyc_130781010_ref24.
- Porras, R. A. (2018). *Residuos sólidos en el municipio de Chía vs crecimiento poblacional un indicador ambiental para ejecutar planes de acción enmarcados en la política pública*.
- Quintero, P., & Delgado, F. (2020). Modelo multicriterio para la gestión integral de residuos sólidos urbanos en Quevedo – Ecuador. *Revista de ciencias sociales*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7687043>
- Quinteros, P. (2019). Mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el cantón de Quevedo, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s2218-36202019000500362&script=sci_arttext&tlng=en
- Quiza, L. (2020). Retroalimentación: una componente para la no-linealidad. *Revista de ciencias sociales y Humanidades*. Obtenido de <https://umapp002.unimagdalena.edu.co/index.php/jangwapana/article/view/3677>

- Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*,. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7890336>
- Rea Andrea,2017. (s.f.). *PLAN DE GESTIÓN*. Ecuador: <https://core.ac.uk/download/pdf/288578209.pdf>.
- Rea, A. E. (2017). *Plan de Gestión* . Ecuador: <https://core.ac.uk/download/pdf/288578209.pdf>.
- Redondo, J. M., Ibarra, D., Monroy, L., & Bermúdez, J. (2018). *Evaluación de estrategias para la gestión*. Bogota: http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/130781010/html/#redalyc_130781010_ref27.
- Rendón, U. M. (2019). *Medio ambiente*. Ecuador: <https://www.redalyc.org/journal/4772/477266187011/477266187011.pdf>.
- Research. (2014). Ecuador: https://es.wikipedia.org/wiki/Forrester_Research.
- Rivera, P. (2022). Metodología de diagnóstico y mejoramiento sectorial empleando dinámica de sistemas. *Universidad San Fracisco*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/items/edb5123d-b1de-480b-a287-62ef8ec201af>
- Rodríguez, A. (2019). *Modelo para la evaluación dinámica de la gestión*. Ecuador: [ModeloParaLaEvaluacionDinamicaDeLaGestionDeResiduo-6995812.pdf](https://www.redalyc.org/journal/6995/6995812.pdf).
- Rodriguez, A., & López, M. (2020). Basura Cero. Gestión de residuos sólidos urbanos en México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*:. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7734665>
- Rodriguez, L. (2023). Políticas gubernamentales en América Latina para la gestión del plástico en la economía circular. *Universidad EAN*. Obtenido de <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/13117>
- Romero, H. (2022). Modelo de gestión del manejo de residuos sólidos urbanos en la provincia de El Oro, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*. Obtenido de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202022000600314&script=sci_arttext

- Rosero, J. (2023). Modelo de introducción de tecnología vehicular para transporte público masivo por medio de simulación en sistemas dinámicos. *Universidad nacional de Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86212>
- Ruis, L., & Carmona, D. (2021). La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio. *Universidad Simon Bolivar*. Obtenido de <https://bonga.unisimon.edu.co/items/cbb661ef-30e3-4263-b7b2-810e88237f5f>
- S&P Sistemas de Ventilación SLU. (3 de Junio de 2019). *Salud ambiental: nuestro entorno y sus consecuencias*. Obtenido de S&P Sistemas de Ventilación SLU: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/salud-ambiental/>
- Sáez, A., & Urdaneta G, J. A. (2014). *Manejo de residuos sólidos en América Latina*. Ecuador: <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>.
- Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*.
- Saldaña, M., & Valiente, Y. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal: Revisión sistémica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2542-30882023000200150
- Santamaría, J. (2024). Evaluación del sistema de gestión integral de residuos sólidos aplicando sistemas dinámicos con el software Vensim en el Cantón Pujilí Provincia de Cotopaxi periodo 2022-2023 (. *Universidad Técnica de Cotopax*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11994>
- Santos, K. (2024). Sostenibilidad de la economía circular para la transferencia del conocimiento en Latinoamérica desde una mirada de la gestión pública. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. Obtenido de <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/191>

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *SEMARNAT reconoce a organizaciones por su desempeño ambiental* . Obtenido de Corresponsables: <https://www.corresponsables.com/mx/actualidad/semarnat-reconoce-organizaciones-desempeno-ambiental/>
- Segura, A., Rojas, L., & Pulido, J. (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos. *Revista espacios*. Obtenido de <https://ww.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p22.pdf>
- Solier, C., & Crespo, V. (2021). Contaminación por Residuos Sólidos Urbanos: Caso Comunidad de Occochaca, Huanta, Perú, 2021. *Scientific Research Journal CIDI*. Obtenido de <https://srjournalcidi.org/index.php/ojs/article/view/39>
- Solíz T, M. F. (2017). *Ecología Política de la basura "Pensando los residuos desde el Sur"*. Quito, Ecuador: Ediciones Abya-Yala. Obtenido de <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/LIBRO-ECOLOGIA-POLITICA-DE-LA-BASURA-2017.pdf>
- Sotelo, S. E., & Benítez, S. O. (2013). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 7-8.
- Sterman, J. (2017). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill. Peru: https://www.researchgate.net/publication/44827001_Business_Dynamics_System_Thinking_and_Modeling_for_a_Complex_World.
- Sterman, J. D. (2016). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill. Ecuador: https://www.researchgate.net/publication/44827001_Business_Dynamics_System_Thinking_and_Modeling_for_a_Complex_World.
- Suárez, B. J. (2022). *Contaminación por residuos sólidos en tres playas: Chipipe, La Carioca y Ballenita*. Santa Elena: Bachelor's thesis.
- Sufian, M. A., & Bala, B. K. (2007). *Modeling of urban solid waste management system*:. Colombia:

http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/130781010/html/#redalyc_130781010_ref24.

Tello, P. (2018). *Gestión Integral de residuos*. Ecuador: <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>.

Texto Unificado de Legislación Secundaria. (2015). *Acuerdo NO. 061 Reforma Del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria*. Ecuador: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>.

Toro, E. R. (2019). *Guía general para los residuos*. Ecuador: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>.

Toro, E., Szantó, M., Pacheco, J., & Contreras, E. (2017). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Ecuador: Manuak de la Cepal. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>

Torri, S. I. (2017). *Relleno sanitario*. Ecuador: Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Facultad de Agronomía, UBA. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Silvana-Torri/publication/319624681_Que_es_un_relleno_sanitario/links/59bbd53d458515e9cfc78e2c/Que-es-un-relleno-sanitario.pdf

UNEP. (2018).

Van Eygen, E., Laner, D., & Fellner, J. (2018). *Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspectives in Austria*. Waste management.

Vargas, C. (2020). Gestión del manejo de residuos sólidos: un problema ambiental en la universidad. *Pensamiento & Gestión*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-62762021000100117&script=sci_arttext

- Velez, D., & López, J. (2021). Gestion de un sistema integral contable de los residuos en la finca El Espejo de San Juan de Uraba. *Universidad de Colombia*. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/d9f66599-dd2b-4661-8ac1-a9e603f72045>
- Ysla, D. (2016). *System Dynamics Modeling*. Peru: https://www.researchgate.net/publication/353687006_System_Dynamics_Modeling_for_Solid_Waste_Management_in_Lima_Peru.
- Zamora, D., & Carrillo, G. (2021). Gestión de residuos sólidos en León, Guanajuato: indicios de economía circular y de los objetivos del desarrollo sostenible. *Región y sociedad*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-39252022000100113&script=sci_arttext
- Zanjani, A. J., Kiani, B., Saeedi, M., & Vosoogh, A. (2012). The effect of the waste separation policy in municipal solid waste management using the system dynamic approach. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 1(1), 5-10.
- Acevedo, I. (2021). El enfoque del dinamismo encarnado está en mejor posición que el conexionismo, para el estudio de los estados mentales, de acuerdo con una visión funcionalista. *Universidad de Chile*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/197785>
- Acosta, N., Villacis, H., & Boada. (2021). Analisis del estado Actual del manejo y gestion de los desechos sólidos en la zona urbana del cantón Salcedo. *Renpys*, 74-85.
- Acurio, J., & Andrango, R. (2021). Modelo de simulación para la optimización de rutas de transporte de recolección de basura en la ciudad de Latacunga. *Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas*. Obtenido de <http://190.15.139.149/index.php/ciya/article/view/369>
- Aldas, D., & Calero, L. (2024). Modelo matemático de optimización basado en los objetivos ambientales para la industria de manufactura del Ecuador. *Universidad de Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/41300>

- Alvarez, J. (2023). Diseño de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo basado en la norma ISO 45001:2018 y optimización de los procesos del sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:2015 para prevenir los riesgos laborales y mejorar la sostenibilidad. *Universidad ESAN*. Obtenido de <https://repositorio.esan.edu.pe/items/b5dd8fbc-8150-4128-b89f-4e39a13c778e>
- Álvarez, R. M., Quen, P. M., & Reyes, W. D. (2020). Manejo de residuos peligrosos biológicos e infecciosos en una escuela de química de nivel superior. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 10(20).
- Argudo, N. (2021). Análisis de estabilidad y caos en sistemas dinámicos económicos con aplicación a la economía panameña. *Universidad de Panama*. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/2381>
- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, (2018). (s.f.). *Gestión Integral de Residuos*. <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>.
- Ávila, S. L., Nieto, M. S., Jiménez, D. C., & Osorio, J. C. (2011). *Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas*. Colombia: Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas.
- Barrera, I., García, G., & Mendoza, C. (2021). Los rellenos sanitarios, una solución paliativa a la problemática de residuos sólidos en Zamora, Michoacán, México. *LATAM IV*. Obtenido de <https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/170>
- Beatriz, A. & (2017). *Sistemas y Modelos*. Ecuador: <https://institucional.us.es/revistas/argumentos/20/06%20ARTEric.pdf>.
- Becerra, G. (2016). *La Teoría de los Sistemas Complejos*. Ecuador: <https://www.redalyc.org/journal/105/10562755007/html/>.
- Blanco, N. (2022). Optimización de la gestión ambiental y económica del recurso energético biomasa para la generación de energía. *Revista Fuentes energeticas*.

Obtenido de [file:///E:/Dialnet-OptimizacionDeLaGestionAmbientalyEconomicaDelRecurso8597300%20\(1\).pdf](file:///E:/Dialnet-OptimizacionDeLaGestionAmbientalyEconomicaDelRecurso8597300%20(1).pdf)

Briones, R. (2020). Evaluación del aprovechamiento integral de los residuos sólidos de las centrales de abasto en áreas metropolitanas de Latinoamérica. *Universidad Autónoma de Nuevo León*. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/19894/>

Burgos, L. (2022). Propuesta de sostenibilidad energética e hídrica por medio de un proceso de proyección de consumo mediante el uso del software Vensim. *Universidad Libre*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/21702>

Campana, M. (2024). Manejo de los residuos sólidos urbanos en el cantón Ambato al año 2022. Desafíos hacia la gestión integral. *FLASCO ANDES*. Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/21277>

Cavalier, J. M. (2019). *Propuesta de diseño de contenedor ecológico inteligente, para mejorar la gestión de residuos sólidos urbanos en el distrito de Villa El Salvador*.

Ceballos, M. (2021). Aparición de oscilaciones autosostenidas en una ruta metabólica hipotética regulada por un bucle de retroalimentación positiva. *Revistas Académicas*. Obtenido de <https://revistas.intec.edu.do/index.php/cite/article/view/1988>

Código Orgánico Administrativo. (2017). Obtenido de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2021-02/CodOrgAdm.pdf>

Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización . (2010). Obtenido de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-10/CODIGO-ORGANICO-DE-ORGANIZACION-TERRITORIAL-COOTAD.pdf>

Condor, P. F., & Lima, A. E. (2017). *Prospective model for the management of solid waste from the district of pampas of the province of tayacaja*.

- Consejo Nacional de Política Económica y Social - CONPES -. (2016). *CONPES 3874- Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos*. Departamento Nacional de Planeación, 73.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>.
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *Constitución de la Republica del Ecuador*. Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>.
- Contreras, E. (2018). *Residuos*. Ecuador: CEPAL. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>
- Contreras, E., Galvez, A., Pacheco, J., & Rondón, E. (2021). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. *Repositorio Cepal*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/e2967856-0743-4099-a92a-6a4d8b93807a>
- Cova, W. J. (2016). *Simulación*. Ecuador: https://www.academia.edu/35733918/Sistemas_Modelos_Simulaci%C3%B3n_y_un_toque_de_Epistemolog%C3%ADa.
- Davila, C. (2023). Propuesta de tratamiento de residuos como base para la gestión integral y sostenible de residuos sólidos para la ciudad de Chachapoyas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*. Obtenido de <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/819>
- De Leo, E., Aranda, D., & Addati, G. A. (2020). *Introducción a la dinámica de sistemas (No. 739)*.
- Díaz, & Martínez. (2019). *Análisis de la dinámica de sistemas*. Ecuador: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n38/a19v40n38p19.pdf>.

- Díaz, M., Guerrero, E., Neira, M., Garcia, R., & Londoño, L. (2019). *Análisis de la dinámica de sistemas en el software Vensim*. Ecuador. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a19v40n38/19403819.html>
- Dies, N. (2021). Diseño de proyecto para reciclaje de poliestireno expandido (EPS) en la ciudad de Huesca. *Universidad de Zaragoza*. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/111756>
- Duarte, N. (2024). Gestión Integral de Residuos Sólidos Segregados en la Fuente de Generación y la Economía Circular Municipal Perú periodo – 2022. *Universidad Ricardo Palma*. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7837>
- Ecociencia. (2021). Jerarquía de residuos. Conoce los cinco niveles. *Ecociencia*. Obtenido de <https://econscienciamx.com/blogs/blog-ecociencia/jerarquia-de-residuos-estos-son-los-cinco-niveles>
- ECOLEX. (2015). Acuerdo N° 61 - Reforma el Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Obtenido de <https://www.ecolex.org/details/legislation/acuerdo-no-61-reforma-el-libro-vi-de-la-calidad-ambiental-del-texto-unificado-de-la-legislacion-secundaria-del-ministerio-del-ambiente-lex-faac155124/#:~:text=El%20presente%20Acuerdo%20reforma%20el%20Libro%20VI%2>
- EPA, Agencia de Protección Ambiental de los Estados. (2020). *Mejores prácticas para la gestión de residuos sólidos: Una guía para los responsables de la toma de decisiones en los países en vías de desarrollo*. Ecuador. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-02/documents/swm_guide-spanish-reducedfilesize_pubnumber_october.pdf
- Espinoza, A. (2021). La economía circular, una alternativa de gestión ambiental para el manejo y disposición de residuos sólidos en Panamá. *Revista Plus economía*. Obtenido de <https://revistas.unachi.ac.pa/index.php/pluseconomia/article/view/502>
- Forrester, R. (2014). Ecuador: https://es.wikipedia.org/wiki/Forrester_Research.

- GAD Salcedo. (2023). *San Miguel de Salcedo*. salcedo: https://es.wikipedia.org/wiki/San_Miguel_de_Salcedo.
- Gálvez, A. (2018). *gestión de residuos*. Ecuador: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>.
- García, G. (2021). Modelación dinámica del comportamiento hidrológico de un humedal urbano bajo condiciones del fenómeno ENSO. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262020000200032&script=sci_arttext
- García, J. M. (2023). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas: Dinámica de Sistemas con VENSIM PLE*.
- Giraldo, M., Espinoza, D., & Arenas, A. (2021). *System dynamics modeling for municipal solid waste management: A case study in Santiago, Chile*. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 32-39. (Vol. 12). (7, Ed.) Lima Peru: IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/353687006_System_Dynamics_Modeling_for_Solid_Waste_Management_in_Lima_Peru
- Goicochea Cardoso, O. C. (2015). *Evaluación ambiental del manejo de residuos sólidos domésticos en La Habana*. La Habana, Cuba.
- Gómez, J. (2021). Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y su Impacto Medioambiental. *Revista ciencia multidisciplinar*. Obtenido de <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/135>
- Gómez, J., & Delgado, J. (2020). Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y su Impacto Medioambiental. *Revista de ciencia Muldisplinar*. Obtenido de <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/135>
- Guerrero, A., Maas, G., & Hogland, W. (31 de julio de 2015). Desafíos en la gestión de residuos sólidos para las ciudades de países en desarrollo. . *Revista Tecnología en*

Marcha, 28(2), 141-168. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000200141

Guerrero, G. (2021). La Implementación de una red neuronal y un modelo de forrester para la predicción entre factores demográficos y agentes contaminantes. *Scientia et Technica*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8895235>

Haza, J. (2021). Objeto de investigación y campo de acción: componentes del diseño de una investigación científica. *EDUMECENTRO*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2077-28742020000300241&script=sci_arttext

Heredia, S., Gavilanes, A., & Heredia, F. (2020). *Manejo integral de residuos hospitalarios peligrosos—“Caso de Estudio Padre Alberto Bufonni, Ecuador”*.

Hernandez Sampieri & Mendoza Torres. (2018). *datos numericos*. Ecuador: https://imedea.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_II_cod101606/M%C3%B3dulo%20La%20desertificaci%C3%B3n%20como%20sistema/Manejo%20del%20programa%20Vensim/Manual%20del%20programa%20Vensim.pdf.

Hernández Sánchez, M. (2012). *Estudio y propuesta de mejora del sistema de reciclado de residuos sólidos urbanos en la comarca de Utiel-Requena de Valencia*. Valencia.

Hernandez, R. (2021). Plan de manejo integral de residuos sólidos para el conjunto residencial Ambarí en la ciudad de Montería. *Universidad de Cordova*. Obtenido de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/253216fb-beff-40ba-a6c5-6067ca3c09c4>

Hernandez-Sampieri, R. & T. (2018). *La Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw Hill.

Hinojoza, D. (2024). Aplicación de estrategias de compras para mejorar la gestión de compras del servicio de evacuación de. *Universidad de San Marcos*. Obtenido de

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/967118be-e96f-4020-ba12-ca6bde6eac17/content>

Hoornweg, D., & Bhada, T. P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. En D. & T. Hoornweg, *What a waste: a global review of solid waste management*.

Huamani, C., & Tudela, J. (2021). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572020000100106&script=sci_arttext

Huancoto, R. (2021). Diseño de relleno sanitario implementando geomembrana para la disposición final de residuos sólidos en Acora-Puno 2020. *Universidad Cesar Vallejo*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60004>

Ibarra, D., & Redondo, J. (2015). *Dinámica de sistemas, una herramienta para la educación ambiental en ingeniería*. Ecuador: Luna Azul. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742015000200009

Ibarra, L. B., Narváez, C. M., & de la Rosa, A. (2020). Análisis de la disposición de los desechos sólidos y generación de biogás en el relleno sanitario de Ambato. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 988-1006.

Ibarra, V., & Rodríguez, A. (2019). *Modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos ordinarios de la ciudad de Bogotá y su influencia en el índice de calidad ambiental urbana*. Bogota: <https://doi.org/10.22490/21456453.2411>.

Izquierdo, C. (2023). Software de gestión de recogida de. *Universidad de la Laguna*. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/33943/Software%20de%20gestion%20de%20recogida%20de%20residuos%20Recycling%20Planner.pdf?sequence=1>

- Jimenez, L. (2020). Impacto de la investigación. *Revista Tech*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Ledys-Jimenez/publication/352750927_IMPACTO_DE_LA_INVESTIGACION_CUANTITATIVA_EN_LA_ACTUALIDAD/links/60d66a7b299bf1ea9ebe5113/IMPACTO-DE-LA-INVESTIGACION-CUANTITATIVA-EN-LA-ACTUALIDAD.pdf
- Jordi Pon, 2019. (s.f.). *Instrumentos para la implementación efectiva*. Ecuador : https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion_de_residuos_-_jordi_pon.pdf.
- Juan Carlos Paez, 2019. (s.f.). *Elementos de Gestion Ambiental*. Ecuador: <https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2018/11/GESTION-AMBIENTAL-ilovepdf-compressed.pdf>.
- Kaza, S. Y., Bhada, T. P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. . En S. Y.-T. Kaza. World Bank Publications.
- León, J., Granda, I., & Lorente, L. (2021). Optimización de la recolección de residuos sólidos urbanos bajo un enfoque de Sistemas de Información. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*. Obtenido de <https://www.proquest.com/openview/a2803956d6c8a33b6d862dd6708e284b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- López, T. (2023). Implementación del plan de manejo integral de residuos sólidos (PMIRS) en flores el trival S.A.S sede caribe. *Universidad de Antioquía*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/37797>
- MacArthur, E. (2013). *Towards the circular economy*. . Journal of Industrial Ecology.
- Macha, E. (2023). Percepción del riesgo de habitar en las inmediaciones de un sitio de disposición final de residuos sólidos, El Salto, México. *Revista de Ciencias Ambientales*. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-38962023000200004&script=sci_arttext
- Mamali, J. (2021). Determinación de la Eficiencia en la Gestión de Residuos Sólidos en las Municipalidades Distritales de la Región de Puno - Perú. *Revista de ciencia*

multidisciplinar.

Obtenido

de

<https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/93>

Martínez, J. (2004). *Análisis Dimensional: Apuntes de Mecánica de Fluidos. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón*. Gijón, España.: Universidad de Oviedo.

Mendez & Astudillo. (2018). *rutas cuantitativa cualitativa*. Ecuadoc: http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf.

Mendieta, r., Giler, J., Menéndez, C., & Macías, R. (2020). *Estudio sobre el manejo de desechos sólidos del área urbana en la parroquia Membrillo, cantón Bolívar*. Ecuador: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1285>.

Montesinos, C., & Tudela, J. (2020). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572020000100106&script=sci_arttext

Moreno, J., Moral, R., Pascual, & Bernal, M. (2019). *De residuos a recursos. El camino hacia la sostenibilidad*. Ecuador: Mundiprensa.

Moreno, K., & Freire, G. (2021). Cadena de suministros verde. *Revista de ciencias sociales*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081773>

Moreno, K., & Freire, G. (2021). Cadena de suministros verde análisis estratégico de la gestión de residuos sólidos en Pelileo-Ecuador. *Revista de ciencias sociales*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081773>

Moreno, K., Freire, G., & Moreno, A. (2021). Cadena de suministros verde análisis estratégico de la gestión de residuos sólidos en Pelileo-Ecuador. *Revista de ciencias sociales*,. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081773>

- Moreno, M. (2022). Propuesta de optimización del sistema de recolección de los residuos sólidos en la ciudad de Riobamba. *Escuela politecnica de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21082>
- Moreno, W., Logroño, J., & Quezada, J. (2021). Residuos sólidos en la ciudad de Macas, Ecuador. *Revista científica de Dominio de las ciencias*. Obtenido de <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2207>
- Neira, L., & Huber, D. (2022). *Modelamiento de sistemas blandos con herramienta Vensim en el aprendizaje*. Ecuador: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/121852/Lazo_ND_H-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Neira, M. (2019). *Análisis de la dinámica de sistemas en el software Vensim*. Ecuador: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n38/19403819.html>.
- Nieto, C., & Guaman, V. (2021). Optimización en la gestión de los residuos sólidos domiciliarios en el área urbana del cantón La Mana, provincia de Cotopaxi = Otimização na gestão de resíduos sólidos domiciliares na zona urbana do cantão de La Mana, província de Cotopaxi. *Dugidocs*. Obtenido de <https://dugidoc.udg.edu/handle/10256/24790>
- Ocampo, S. (2022). Análisis del comportamiento dinámico de diafragmas prefabricados. *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80227>
- Oliva, J. (2020). Validación de un modelo de logística inversa para la recuperación de los RAEE de la ciudad de Cali, basado en el Pensamiento Sistémico usando una simulación con Dinámica de Sistemas. *TecnoLógicas*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-77992020000200055&script=sci_arttext
- ONU Medio Ambiente. (2017). *Instrumentos para la implementación efectiva y coherente de la dimensión ambiental*. Ecuador: Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL. Obtenido de https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion_de_residuos_-_jordi_pon.pdf

- Orosco, Y., & Pulgarín, F. (2021). Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia. *Tecnológico Antioquia*. Obtenido de <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/808>
- Pacheco, A., & Porras, I. (2021). Dispositivo para la clasificación de residuos sólidos y medición de huella ecológica. *Revista habitus semilleros*. Obtenido de https://revistas.uptc.edu.co/index.php/semilleros_investigacion/article/view/12181
- Parpuezan, V., & Revelo, A. (2023). Estrategias Pedagógicas para Fortalecer la Cultura Ambiental Frente a la Contaminación por Residuos Sólidos en los Estudiantes de Primaria de la Sede Indígena Awá, La Brava. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*,. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9137959>
- Perez, A., & Rodriguez, F. (2022). Flujo, clasificación y potencial de reciclaje de residuos sólidos urbanos en una localidad cuya principal actividad es la agricultura. *Acta universitaria*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662022000100120&script=sci_arttext
- PGIRS . (2016). *Documento técnico de soporte de un plan de Gestión*. Bogota: <https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/Documento%20t%C3%A9cnico%20PGIRS%20011116.pdf>.
- Pilar, T. E., Campani, D., & Sarafian, D. (2018). *Geston Intergral de residuos Sólidos*. Ecuador: Tribunal Superior de Justicia Electoral “TSJE” de Paraguay, y AIDIS Paraguay. Obtenido de <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>
- Pinto, A., & Gonzalez, E. (2022). Sistema de gestión de energía para una microrred con almacenamiento en baterías e incorporación de biomasa. *TecnoLógicas*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-77992022000200206&script=sci_arttext
- Porras, A. P. (2018). *Residuos sólidos en el municipio de Chía vs crecimiento poblacional un indicador ambiental*. Bogota:

http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/130781010/html/#redalyc_130781010_ref24.

Porras, R. A. (2018). *Residuos sólidos en el municipio de Chía vs crecimiento poblacional un indicador ambiental para ejecutar planes de acción enmarcados en la política pública*.

Quintero, P., & Delgado, F. (2020). Modelo multicriterio para la gestión integral de residuos sólidos urbanos en Quevedo – Ecuador. *Revista de ciencias sociales*,. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7687043>

Quinteros, P. (2019). Mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el cantón de Quevedo, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s2218-36202019000500362&script=sci_arttext&tlng=en

Quiza, L. (2020). Retroalimentación: una componente para la no-linealidad. *Revista de ciencias sociales y Humanidades*. Obtenido de <https://umapp002.unimagdalena.edu.co/index.php/jangwapana/article/view/3677>

Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*,. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7890336>

Rea Andrea, 2017. (s.f.). *PLAN DE GESTIÓN*. Ecuador: <https://core.ac.uk/download/pdf/288578209.pdf>.

Rea, A. E. (2017). *Plan de Gestión*. Ecuador: <https://core.ac.uk/download/pdf/288578209.pdf>.

Redondo, J. M., Ibarra, D., Monroy, L., & Bermúdez, J. (2018). *Evaluación de estrategias para la gestión*. Bogota: http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/130781010/html/#redalyc_130781010_ref27.

Rendón, U. M. (2019). *Medio ambiente*. Ecuador: <https://www.redalyc.org/journal/4772/477266187011/477266187011.pdf>.

- Research. (2014). Ecuador: https://es.wikipedia.org/wiki/Forrester_Research.
- Rivera, P. (2022). Metodología de diagnóstico y mejoramiento sectorial empleando dinámica de sistemas. *Universidad San Francisco*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/items/edb5123d-b1de-480b-a287-62ef8ec201af>
- Rodríguez, A. (2019). *Modelo para la evaluación dinámica de la gestión*. Ecuador: [ModeloParaLaEvaluacionDinamicaDeLaGestionDeResiduo-6995812.pdf](#).
- Rodriguez, A., & López, M. (2020). Basura Cero. Gestión de residuos sólidos urbanos en México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7734665>
- Rodriguez, L. (2023). Políticas gubernamentales en América Latina para la gestión del plástico en la economía circular. *Universidad EAN*. Obtenido de <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/13117>
- Romero, H. (2022). Modelo de gestión del manejo de residuos sólidos urbanos en la provincia de El Oro, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202022000600314&script=sci_arttext
- Rosero, J. (2023). Modelo de introducción de tecnología vehicular para transporte público masivo por medio de simulación en sistemas dinámicos. *Universidad nacional de Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86212>
- Ruis, L., & Carmona, D. (2021). La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio. *Universidad Simon Bolivar*. Obtenido de <https://bonga.unisimon.edu.co/items/cbb661ef-30e3-4263-b7b2-810e88237f5f>
- S&P Sistemas de Ventilación SLU. (3 de Junio de 2019). *Salud ambiental: nuestro entorno y sus consecuencias*. Obtenido de S&P Sistemas de Ventilación SLU: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/salud-ambiental/>
- Sáez, A., & Urdaneta G, J. A. (2014). *Manejo de residuos sólidos en América Latina*. Ecuador: <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>.

Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*.

Salcedo, G. (2013). *salcedo*. Ecuador:
https://es.wikipedia.org/wiki/San_Miguel_de_Salcedo.

SALCEDO, G. M. (2023). *SALCEDO*. ECUADOR:
https://es.wikipedia.org/wiki/San_Miguel_de_Salcedo.

Saldaña, M., & Valiente, Y. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal: Revisión sistémica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2542-30882023000200150

Santamaría, J. (2024). Evaluación del sistema de gestión integral de residuos sólidos aplicando sistemas dinámicos con el software Vensim en el Cantón Pujilí Provincia de Cotopaxi periodo 2022-2023 (. *Universidad Técnica de Cotopax*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11994>

Santos, K. (2024). Sostenibilidad de la economía circular para la transferencia del conocimiento en Latinoamérica desde una mirada de la gestión pública. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. Obtenido de <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/191>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *SEMARNAT reconoce a organizaciones por su desempeño ambiental* . Obtenido de Corresponsables: <https://www.corresponsables.com/mx/actualidad/semarnat-reconoce-organizaciones-desempeno-ambiental/>

Segura, A., Rojas, L., & Pulido, J. (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos. *Revista espacios*. Obtenido de <https://ww.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p22.pdf>

Solier, C., & Crespo, V. (2021). Contaminación por Residuos Sólidos Urbanos: Caso Comunidad de Occhochaca, Huanta, Perú, 2021. *Scientific Research Journal CIDI*. Obtenido de <https://srjournalcidi.org/index.php/ojs/article/view/39>

- Solíz T, M. F. (2017). *Ecología Política de la basura "Pensando los residuos desde el Sur"*. Quito, Ecuador: Ediciones Abya-Yala. Obtenido de <https://www.noburn.org/wp-content/uploads/LIBRO-ECOLOGIA-POLITICA-DE-LA-BASURA-2017.pdf>
- Sotelo, S. E., & Benítez, S. O. (2013). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 7-8.
- Sterman, J. (2017). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill. Peru: https://www.researchgate.net/publication/44827001_Business_Dynamics_System_Thinking_and_Modeling_for_a_Complex_World.
- Sterman, J. D. (2016). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill. Ecuador: https://www.researchgate.net/publication/44827001_Business_Dynamics_System_Thinking_and_Modeling_for_a_Complex_World.
- Suárez, B. J. (2022). *Contaminación por residuos sólidos en tres playas: Chipipe, La Carioca y Ballenita*. Santa Elena: Bachelor's thesis.
- Sufian, M. A., & Bala, B. K. (2007). *Modeling of urban solid waste management system*. Colombia: http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/130781010/html/#redalyc_130781010_ref24.
- Tello, P. (2018). *Gestión Integral de residuos*. Ecuador: <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria. (2015). *Acuerdo NO. 061 Reforma Del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria*. Ecuador: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>.
- Toro, E. R. (2019). *Guía general para los residuos*. Ecuador: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>.

- Toro, E., Szantó, M., Pacheco, J., & Contreras, E. (2017). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Ecuador: Manuak de la Cepal. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>
- Torri, S. I. (2017). *Relleno sanitario*. Ecuador: Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Facultad de Agronomía, UBA. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Silvana-Torri/publication/319624681_Que_es_un_relleno_sanitario/links/59bbd53d458515e9cfc78e2c/Que-es-un-relleno-sanitario.pdf
- UNEP. (2018).
- Van Eygen, E., Laner, D., & Fellner, J. (2018). *Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspectives in Austria*. Waste management.
- Vargas, C. (2020). Gestión del manejo de residuos sólidos: un problema ambiental en la universidad. *Pensamiento & Gestión*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-62762021000100117&script=sci_arttext
- Velez, D., & López, J. (2021). Gestion de un sistema integral contable de los residuos en la finca El Espejo de San Juan de Uraba. *Universidad de Colombia*. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/d9f66599-dd2b-4661-8ac1-a9e603f72045>
- Ysla, D. (2016). *System Dynamics Modeling*. Peru: https://www.researchgate.net/publication/353687006_System_Dynamics_Modeling_for_Solid_Waste_Management_in_Lima_Peru.
- Zamora, D., & Carrillo, G. (2021). Gestión de residuos sólidos en León, Guanajuato: indicios de economía circular y de los objetivos del desarrollo sostenible. *Región y sociedad*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-39252022000100113&script=sci_arttext
- Zanjani, A. J., Kiani, B., Saeedi, M., & Vosoogh, A. (2012). The effect of the waste separation policy in municipal solid waste management using the system dynamic

approach. . *International Journal of Environmental Health Engineering*, , 1(1), 5-10.