



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS  
DEL GAD LATACUNGA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE  
DINÁMICA DE SISTEMAS”**

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

**Autores:**

Taco Saransig Elvis Javier  
Yáñez Sánchez Samuel Alejandro

**Tutor:**

Ágreda Oña José Luis

**LATACUNGA – ECUADOR**  
**Febrero 2025**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Taco Saransig Elvis Javier, con cédula de ciudadanía No. 1718465121 y Yánez Sánchez Samuel Alejandro, con cédula de ciudadanía No. 1726549270, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DEL GAD LATACUNGA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS”**, siendo el Ingeniero Mg. José Luis Ágreda 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, 21 de febrero del 2025



Elvis Javier Taco Saransig  
C.C: 1718465121  
**ESTUDIANTE**



Samuel Alejandro Yánez Sánchez  
C.C: 1726549270  
**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 **TACO SARANSIG ELVIS JAVIER**, identificado con cédula de ciudadanía **1718465121** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL 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.** - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DEL GAD LATACUNGA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS”**, 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: Abril 2021 - Agosto 21

Finalización de la carrera: Octubre 2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de diciembre del 2024

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

Tema: **“MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DEL GAD LATACUNGA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS”**

**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, **EL 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 **EL 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 **EL 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 **EL 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 **EL 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 solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 20 días del mes de febrero del 2025.



Elvis Javier Taco Saransig  
**EL CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**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 **YÁNEZ SÁNCHEZ SAMUEL ALEJANDRO**, identificado con cédula de ciudadanía **1726549270** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL 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.** - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DEL GAD LATACUNGA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS”**, 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: Abril 2021 - Agosto 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2024– Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de diciembre 2024

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

Tema: **“MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DEL GAD LATACUNGA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS”**

**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, **EL 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 **EL 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 **EL 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 **EL 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 **EL 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 solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 20 días del mes de febrero del 2025.



Samuel Alejandro Yáñez Sánchez  
**EL CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

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

**“MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DEL GAD LATACUNGA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS”**, de Taco Saransig Elvis Javier y Yánez Sánchez Samuel Alejandro, 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 han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 21 de febrero del 2025



Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.  
C.C: 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, los postulantes: Taco Saransig Elvis Javier y Yánez Sánchez Samuel Alejandro, con el título del Proyecto de Investigación: **“MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DEL GAD LATACUNGA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS”**, 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.

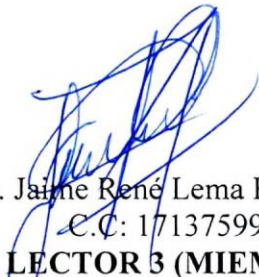
Latacunga, 21 de febrero del 2025



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



Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg.  
C.C: 0400689790  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Lcdo. Jaime René Lema Pillalaza, Mg.  
C.C: 1713759932  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, quiero agradecer a Dios por guiarme en cada paso de mi vida, especialmente durante momentos críticos de toma de decisiones. También deseo rendir homenaje a mis queridos padres, cuyas muestras de amor y apoyo incondicional han sido imprescindible para que pueda alcanzar mis metas y cumplir mis sueños. Su respaldo tanto emocional como material, me ha proporcionado la tranquilidad necesaria que necesito para concentrarme en mis estudios y seguir adelante sin distracciones. Además, quiero agradecer profundamente a mis amigos del barrio, quienes siempre me han alentado y motivado a no rendirme ante las adversidades. Su amistad y ánimo han sido un gran impulso en mi vida. También sumo a mis primos y a toda mi familia, que con sus palabras siempre han estado ahí, brindándome el aliento necesario para continuar en la búsqueda de mis objetivos y no rendirme ante los retos. También quisiera agradecer a la niña más hermosa del mundo por ayudarme y apoyarme en los momentos más difíciles que pase en la universidad gracias por todo Te quiero (F). Cada uno de ellos ha tenido un papel significativo en mi viaje. Finalmente, deseo dedicar un agradecimiento especial a la universidad y a todos los docentes que han contribuido a mi formación, llenándome de conocimientos y herramientas que han sido cruciales para que hoy tenga la oportunidad de estar aquí, presentando con entusiasmo mi proyecto de investigación.*

**Elvis Javier Taco Saransig**

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero agradecer a Dios por darme la sabiduría necesaria para tomar decisiones importantes durante mi camino de formación. A mis padres por ser mis pilares en la vida quienes me enseñaron a nunca rendirme y que debo luchar por alcanzar mis metas además por la confianza que depositan en mí y sobre todo por el amor incondicional que me brindan. A mis familiares y hermanos porque cada uno de ellos me han dado su apoyo en todo momento y me han alentado a seguir adelante con sus abrazos y palabras. A mi novia porque me ha brindado su ayuda y apoyo emocional cuando más lo necesitaba. A mi entrenadora de taekwondo por ser la mejor amiga que me ha aconsejado y ayudado a mantener la calma en momentos críticos. A los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental por darme los conocimientos de mi formación que me servirán a largo plazo. Por último, a la Universidad Técnica de Cotopaxi por permitirme formarme como un profesional.*

**Samuel Alejandro Yáñez Sánchez**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres cuyo amor y apoyo incondicional han sido el cimiento de mi vida. A mis abuelos maternos, por su cariño y enseñanzas que me han formado. A mis hermanos que siempre han estado para mí. Y a mi abuelita paterna, cuyo recuerdo y amor me inspiran a alcanzar mis metas. Por último, a mi mejor amiga Joyce y su familia que siempre confiaron en mí. Gracias a todos ustedes por ser mi motor y motivación constante; este logro es tan suyo como mío.*

***Elvis Javier Taco Saransig***

## **DEDICATORIA**

*A mis padres porque son lo más valioso que tengo, A mi hermana que desde el cielo me ha protegido y brindado amor además de que me ha visto progresando. Y a mis abuelitos ya que su amor y sus enseñanzas son importante para mí. Este logro los dedico a ustedes porque me motivan a ser mejor cada día y que no debo ceder ante las dificultades que se me presenten.*

*Samuel Alejandro Yáñez Sánchez*

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS  
DEL GAD LATACUNGA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE  
SISTEMAS”**

**AUTOR**

Taco Saransig Elvis Javier  
Yáñez Sánchez Samuel Alejandro

## RESUMEN

La investigación tiene como objetivo mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de gestión de residuos sólidos del GAD Latacunga utilizando la metodología de dinámica de sistemas. Dado el aumento de desechos y las limitaciones en la infraestructura de recolección y disposición, es necesario desarrollar estrategias centradas en la reducción, reutilización y reciclaje para minimizar el impacto ambiental. Se adopta un enfoque cuantitativo basado en modelización dinámica con el software Vensim, complementado con observación directa y revisión bibliográfica. A través de simulaciones, se analizan diferentes escenarios de gestión para evaluar su efectividad en la reducción de residuos destinados a rellenos sanitarios. Los resultados indican que el escenario 3, que incluye estrategias avanzadas de reciclaje y valorización de residuos, disminuye de manera significativa la cantidad de desechos enviados a disposición final. No obstante, se identifican obstáculos como la falta de educación ambiental y la escasa inclusión de recicladores en el proceso, lo que limita la eficiencia del sistema. En conclusión, es crucial implementar un plan integral de gestión de residuos que priorice la economía circular y fomente la participación comunitaria. Se sugiere fortalecer la infraestructura de reciclaje, desarrollar programas de educación ambiental que concienticen a la ciudadanía sobre su papel en la gestión de residuos y establecer políticas que incentiven la separación en la fuente. Estas acciones son fundamentales para asegurar un sistema sostenible y eficiente a largo plazo, garantizando una gestión responsable de los residuos tanto en el presente como en el futuro.

**Palabras clave:** Gestión de residuos, Dinámica de sistemas, Reciclaje, Economía circular, Sostenibilidad.

## TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

**THEME: IMPROVEMENT OF THE INTEGRATED WASTE MANAGEMENT SYSTEM OF GAD  
LATACUNGA THROUGH THE SYSTEM DYNAMICS METHODOLOGY**

Author:  
Taco Saransig Elvis Javier  
Yáñez Sánchez Samuel Alejandro

## ABSTRACT

The research aims to improve the efficiency and sustainability of the solid waste management system of GAD Latacunga using the system dynamics methodology. Given the increase in waste and the limitations in the collection and disposal infrastructure, it is necessary to develop strategies focused on reduction, reuse and recycling to minimize the environmental impact. A quantitative approach based on dynamic modeling with Vensim software is adopted, complemented with direct observation and literature review. Through simulations, different management scenarios are analyzed to evaluate their effectiveness in reducing waste destined for landfills. The results indicate that scenario 3, which includes advanced recycling and waste recovery strategies, significantly reduces the amount of waste sent to final disposal. However, obstacles are identified such as the lack of environmental education and the limited inclusion of recyclers in the process, which limits the efficiency of the system. In conclusion, it is crucial to implement a comprehensive waste management plan that prioritizes the circular economy and encourages community participation. It is suggested that recycling infrastructure be strengthened, environmental education programs be developed to make citizens aware of their role in waste management, and policies be established to encourage separation at the source. These actions are essential to ensure a sustainable and efficient system in the long term, guaranteeing responsible waste management both now and in the future.

**Keywords:** Waste management, System dynamics, Recycling, Circular economy, Sustainability.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	v
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
AGRADECIMIENTO .....	x
DEDICATORIA .....	xi

DEDICATORIA .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	3
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	4
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	5
6. HIPÓTESIS .....	6
7. OBJETIVOS .....	6
7.1 Objetivo General .....	6
7.2 Objetivo Específico .....	7
8. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	7
9. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	9
9.1 Modelos dinámicos .....	9
9.2 Diagrama de flujo .....	10
9.3 Diagramas caudales .....	10
9.4 Retroalimentación .....	11
9.5 Modelado .....	11
9.6 Bucles .....	11
9.7 Bucle de Retroalimentación negativa .....	12
9.8 Bucle de Retroalimentación positiva .....	13
9.9 Simulador .....	14
9.10 Escenario .....	14
9.11 Análisis .....	15
9.12 Relleno Sanitario .....	16
9.13 Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos .....	16

9.14	Contaminación	17
9.15	Compostaje	17
9.16	Reciclaje	18
9.17	Residuos	19
9.18	Clasificación de los Residuos	19
9.19	Residuos Peligrosos	20
9.20	Residuos No peligrosos	20
9.21	Residuos Especiales	21
10.	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.	22
11.	METODOLOGÍAS	22
11.1	Área de Estudio	22
11.2	Enfoque	23
11.2.1	Enfoque Cuantitativo	23
11.2.2	Observación Directa	24
11.2.3	Análisis Bibliográfico	25
11.2.4	Dinámica de sistemas	27
11.2.5	Vensim	28
11.3	Tipo de investigación	29
11.4	Marco Legal	30
11.4.1	Constitución de la República del Ecuador	30
11.4.2	Código Orgánico del Ambiente	31
11.4.3	Acuerdo N° .062 reforma del libro VI del texto unificado de la legislación secundaria	32
11.5	Fórmulas	34
11.5.1	Taza de crecimiento poblacional	34
11.5.2	Crecimiento exponencial	35
	Definición de variables para el análisis dinámico en el diagrama de causales	36
11.5.3	Variables	36
12.	Análisis y Discusión de Resultados	37
12.1	Analizar cómo se maneja el sistema de recolección de residuos del GAD Latacunga en términos de eficiencia.	37

Construir un modelo dinámico en el software Vensim que represente el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo .....	40
12.1.1    Análisis del Sistema de Flujo .....	42
12.1.2    Resultados de la simulación .....	42
12.1.3    Validación del Modelo .....	42
12.2    Comparar los escenarios simulados para identificar cuál es el más eficiente a lo largo del tiempo. 45	
13. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	49
14. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS) .....	51
14.1    Impacto Ambiental .....	51
14.2    Impacto Social .....	51
14.3    Impacto Económico .....	51
15. CONCLUSIONES .....	52
16. RECOMENDACIONES .....	52
17. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
18. ANEXOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del Proyecto. ....	5
Tabla 2. Variables de Gestión Integral de Residuos .....	36
Tabla 3. Eficiencia de Recolección y Deficiencias Encontradas en el Sistema. ....	38

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bucle de Retroalimentación negativa.....	12
Figura 2. Bucle de retroalimentación positiva. ....	13
Figura 3. Mapa Cantón Latacunga .....	22
Figura 4. Relleno Sanitario, sector Inchapo .....	23
Figura 5 Software Vensim PLE 10.2.2. ....	29
Figura 6. Sistema de Gestión de los Residuos Sólidos (ACTUAL). ....	38
Figura 7. Diagrama de los elementos que afectan las variables del análisis en el sistema integral de manejo de residuos sólidos. ....	40
Figura 8. Diseño dinámico del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos. ....	41
Figura 9. Crecimiento poblacional Latacunga. ....	43
Figura 10. Datos EPAGAL contra datos Simulados .....	44
Figura 11. Comportamiento de la Disposición Final en diferentes escenarios .....	45
Figura 12. Comportamiento de la capacidad del Relleno Sanitario en diferentes escenarios ..	46
Figura 13. Comportamiento de indicadores de Residuos Aprovechables en diferentes escenarios.....	47
Figura 14. Comportamiento de Indicador de Residuos Dispuestos en diferentes escenarios ..	48



## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

“Mejora del Sistema de Gestión Integral de Desechos del GAD Latacunga a través de la metodología de dinámica de sistemas”

### **Fecha De Inicio**

Octubre de 2024

### **Fecha De Finalización**

Marzo de 2025

### **Lugar de ejecución:**

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

### **Institución, unidad académica y carrera que auspicia**

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN), carrera de Ingeniería en Medio Ambiente.

### **Nombres de equipo de investigación:**

Tutor: Ing. José Luis Ágredda Oña.

Estudiantes: Sr. Elvis Javier Taco Saransig y el Sr. Samuel Alejandro Yáñez Sánchez.

LECTOR 1: Ing. Ortiz Bustamante Vladimir Marconi

LECTOR 2: Ing, Daza Guerra Oscar Rene LECTOR

3: Ing. Lema Pillalaza Jaime René

### **Área de Conocimiento:**

Ingeniería, industria y construcción, tecnología de protección del medio ambiente y Ciencias Ambientales.

### **Línea de investigación:**

Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

### **Sub-línea de Investigación de la Carrera:**

Impactos Ambiental

**Línea de Vinculación de la Facultad:**

Gestión de Recursos Naturales, Biodiversidad, Para el Desarrollo Humano y Social.

## **2. INTRODUCCIÓN**

La gestión integral de desechos sólidos se ha convertido en una de las principales preocupaciones en la agenda ambiental de las ciudades, especialmente en contextos donde el crecimiento poblacional y la producción de residuos aumentan de manera exponencial. En este sentido, el proyecto titulado “Mejora del Sistema de Gestión Integral de Desechos del GAD Latacunga a través de la metodología de dinámica de sistemas” propone un enfoque innovador para abordar los desafíos que enfrenta la ciudad de Latacunga en la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de sus residuos. La problemática principal radica en la ineficiencia de los procedimientos actuales, que no solo impactan la salud pública y el medio ambiente, sino que también restringen el potencial de desarrollo sostenible del cantón. El objetivo general de este proyecto es mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de gestión de desechos del GAD Latacunga mediante la aplicación de la dinámica de sistemas. Esto se desglosa en objetivos específicos que incluyen la identificación y evaluación de diversas estrategias de gestión de residuos, la promoción de prácticas de reciclaje y la sensibilización de la comunidad sobre la importancia de una adecuada gestión de desechos. La hipótesis subyacente es que la implementación de esta metodología facilitará una mejor comprensión de las interacciones entre los distintos componentes del sistema y permitirá simular el impacto de diferentes políticas y decisiones, llevando a mejoras significativas en la eficiencia del manejo de residuos sólidos. La justificación de este proyecto se basa en la necesidad de un enfoque integral que considere no solo los aspectos técnicos de la gestión de residuos, sino también la participación activa de la comunidad y la inclusión de actores clave como los recicladores. La dinámica de sistemas ofrece herramientas analíticas que permiten modelar las interacciones y retroalimentaciones presentes en el sistema de gestión de desechos, facilitando la identificación de oportunidades para mejorar los procesos actuales. Este enfoque no solo busca realizar una gestión más eficaz de los desechos, sino que también pretende fomentar una cultura de reciclaje y sostenibilidad dentro de la comunidad de Latacunga. La estructura del proyecto se organiza en varias secciones. En primer lugar, se presenta información general sobre el proyecto, incluyendo el contexto y la cronología de la investigación. A continuación, se expone la justificación del proyecto y la identificación.

## **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El sistema de gestión de desechos sólidos es fundamental y complejo, ya que involucra a diversos actores, procesos y flujos de materiales. Los elementos que lo componen incluyen la

generación de residuos, la recolección, el transporte, el tratamiento y la disposición final, así como actividades de reciclaje y compostaje. Cada uno de estos elementos está interconectado, y cualquier cambio en una parte del sistema puede tener efectos no lineales en las demás. La dinámica de sistemas proporciona una herramienta valiosa para modelar y comprender estas interconexiones y retroalimentaciones. Permite simular diferentes escenarios y anticipar los impactos de diversas políticas y decisiones, lo que facilita una planificación más informada y estratégica. A través de la dinámica de sistemas, el GAD Latacunga puede identificar y evaluar múltiples estrategias de gestión de desechos antes de su implementación. Modelar diferentes escenarios de gestión permite comparar alternativas, como la mejora en la recolección de residuos, la expansión de programas de reciclaje o la adopción de tecnologías para el tratamiento de residuos. Este enfoque no solo ayuda a reducir costos al evitar inversiones en soluciones ineficaces, sino que también optimiza los recursos disponibles al identificar las estrategias más efectivas y sostenibles a largo plazo. La dinámica de sistemas también permite incluir variables sociales y comportamentales en los modelos de gestión de desechos, lo cual es crucial, ya que el éxito de cualquier sistema de gestión de residuos depende en gran medida de la participación activa de la comunidad. La simulación de dinámicas comunitarias y la evaluación de programas educativos pueden contribuir a diseñar campañas de sensibilización más efectivas, fomentando prácticas de reducción, reutilización y reciclaje entre los ciudadanos de Latacunga. Además, permite medir el impacto de estas campañas en la generación de residuos, mejorando continuamente las estrategias de educación ambiental. La gestión integral de desechos es fundamental para el desarrollo sostenible. Utilizando la dinámica de sistemas, se puede modelar cómo se distribuyen estos recursos en diferentes condiciones y políticas, lo que permite identificar oportunidades para reducir costos y mejorar la eficiencia. El entorno en el que opera el sistema de gestión de desechos está en constante cambio, influenciado por el crecimiento poblacional, las variaciones en los patrones de consumo y la implementación de nuevas normativas ambientales. Esto fortalece la resiliencia del sistema, preparándolo para enfrentar futuros desafíos. Uno de los principales objetivos de optimizar la gestión de desechos es disminuir el impacto ambiental. La dinámica de sistemas permite evaluar el ciclo de vida de los residuos, señalando los puntos críticos donde se puede reducir la huella de carbono y otros efectos negativos. Modelar el flujo de materiales y energía dentro del sistema ayuda a diseñar procesos que minimicen la generación de residuos y maximicen la recuperación de recursos, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental del municipio.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Los beneficiarios de este proyecto de investigación son los habitantes de Latacunga.

**Tabla 1.**

*Beneficiarios del Proyecto.*

<b>BENEFICIARIOS DIRETOS</b>		<b>BENEFICIARIOS INDIRECTOS</b>	
<b>Empresa EPAGAL</b>		<b>Población del Cantón Latacunga</b>	
Hombres:	68	Hombres:	106010
Mujeres:	32	Mujeres:	111261
<b>Total:</b>	<b>100</b>	<b>Total:</b>	<b>217761</b>

**Fuente:** (EPAGAL, 2024; INEC, 2022)

**Elaborado:** (Autores, 2025)

#### 5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El sistema de gestión integral de desechos en el GAD Latacunga es un tema crucial que afecta tanto la salud como al ambiente. A pesar de los esfuerzos realizados por la Empresa Pública de Gestión Ambiental (EPAGAL), la gestión de residuos sólidos en el cantón presenta fallos y estas se manifiestan en la inadecuada recolección, la falta de infraestructura adecuada y la escasa participación de la comunidad en programas de reciclaje y reducción de residuos.

Uno de los principales problemas es la incapacidad del sistema para manejar eficazmente la cantidad cada vez mayor de residuos que se generan. Según datos de la Administración Municipal, Latacunga genera diariamente aproximadamente 215,29 toneladas de residuos, de los cuales más del 50% son materiales no perecederos (Vaca Rueda, 2020).

Según (Gallegos Garzón & Latorre, 2021) nos menciona que la situación se ve agravada por la falta de recursos financieros y humanos, lo que limita la capacidad de EPAGAL para implementar estrategias efectivas de gestión de residuos. La falta de inversión en infraestructura de recolección y tratamiento de residuos da como resultado que grandes cantidades de residuos terminen en vertederos abiertos, lo que plantea riesgos para la salud y el entorno natural.

Además, el (Municipio de Latacunga, 2005) dice que la falta de conciencia y educación ambiental de la gente es también una de las razones de este problema. Aunque existen normas que regulan la clasificación y gestión de residuos, su aplicación es insuficiente. La Ordenanza No. 60 de la ciudad de Latacunga establece directrices claras para la gestión de residuos, pero su cumplimiento es limitado. La participación ciudadana en los programas de reciclaje es baja, lo que refleja una falta de compromiso y comprensión de la importancia de una gestión adecuada de los residuos.

Según (Vaca Rueda, 2020), nos dice que un aspecto importante es la necesidad de incluir a los recicladores en las normativas de gestión de residuos. Estos actores son fundamentales en la recolección y el reciclaje de materiales, pero frecuentemente se encuentran marginados y sin el respaldo institucional necesario. Integrar asociaciones de recicladores en los procesos de gestión puede mejorar notablemente la eficiencia del sistema y fomentar la economía circular en el estado.

Abordar estos problemas requiere un enfoque integral que no solo mejore la infraestructura y los recursos, sino que también fomente la educación y la participación de la comunidad. Es fundamental crear una cultura de reciclaje y reducción de residuos para aumentar la concientización y ofrecer capacitación en programas de gestión de residuos. Además, es crucial formalizar a los recicladores y establecer un sistema de apoyo y reconocimiento dentro del mismo. El Gad Latacunga necesita un enfoque multifacético que aborde las deficiencias actuales y fomente la participación activa de la comunidad. La gestión de residuos del cantón sólo puede ser sostenible y eficiente si las autoridades, la población y los recicladores trabajan juntos.

## **6. HIPÓTESIS**

La implementación de la metodología de Dinámica de Sistemas en el Sistema de Gestión Integral de Desechos del GAD Latacunga mejorará la eficiencia y sostenibilidad del manejo de residuos sólidos en el cantón, al permitir una mejor comprensión de las interacciones entre los diferentes componentes del sistema y simular el impacto de diversas estrategias y políticas.

## 7. OBJETIVOS

### 7.1 Objetivo General

Mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de gestión para optimizar procesos de revalorización de desechos del GAD Latacunga a través de la aplicación de la dinámica de sistemas.

### 7.2 Objetivo Específico

Analizar cómo se maneja el sistema de recolección de residuos del GAD Latacunga en términos de eficiencia.

Construir un modelo dinámico en el software Vensim que represente el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo.

Comparar los escenarios simulados para identificar cuál es el más eficiente a lo largo del tiempo.

## 8. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado
O.1.- Analizar cómo se maneja el sistema de recolección de residuos del GAD Latacunga en términos de eficiencia.	Se realizó investigaciones de campo y observaciones directas de las actividades de recolección en varias áreas para detectar problemas y oportunidades de optimización.	Observación directa y análisis de datos de recolección.	Tabla comparativa sobre la eficiencia de recolección y las deficiencias encontradas en el sistema.

---

O.2.- Construir un modelo dinámico en el software Vensim que represente el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo.	Recopilación de datos sobre las variables del sistema de gestión de desechos	Modelado en Vensim utilizando los datos recopilados.	Modelo dinámico que ilustra el comportamiento del sistema de gestión de desechos a lo largo del tiempo.
--	--	--	---

---

O.3.- Comparar los escenarios simulados para identificar cuál es el más eficiente a lo largo del tiempo.	Se crearon diferentes escenarios de gestión en el modelo Vensim.	Evaluación comparativa de escenarios mediante análisis de sensibilidad.	Propuestas de mejora para la eficiencia del sistema de recolección de residuos, basadas en los resultados del modelo.
--	--	---	---

---

**Elaborado por:** (Los autores, 2025).

## **9. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

La mejora del sistema de gestión integral de desechos del GAD Latacunga necesita un enfoque científico que utilice la metodología de dinámica de sistemas. Este enfoque permite modelar las interacciones entre la recolección, el transporte y el tratamiento de residuos, simulando diferentes escenarios para evaluar el impacto de varias estrategias en la eficiencia de recolección. Es esencial incluir a todos los actores, como la comunidad y los recicladores, para mejorar la caracterización de la gestión de desechos y fomentar la participación ciudadana. Con herramientas como Vensim, se pueden representar los flujos de residuos y desarrollar propuestas que optimicen la gestión y promuevan la sostenibilidad. La evaluación continua de los resultados permitirá ajustar políticas y mejorar el sistema, basando las decisiones en datos concretos y en el análisis de las dinámicas comunitarias, contribuyendo así a un sistema más resiliente y sostenible. (Vaca Rueda, 2020).

### **9.1 Modelos dinámicos**

Según (Moreno & Thomson, 2010). nos, menciona que un modelo dinámico es una representación matemática que ilustra cómo se comporta un sistema a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta las interacciones entre sus componentes y las influencias externas. En el ámbito de la ingeniería civil, estos modelos se emplean para anticipar la respuesta de las estructuras ante diferentes cargas y excitaciones, como terremotos o vientos, utilizando ecuaciones diferenciales que reflejan las leyes de movimiento y las propiedades físicas del sistema.

Un modelo dinámico es una representación que facilita la simulación y el análisis del comportamiento de sistemas complejos a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta las interacciones entre sus componentes y su capacidad de adaptarse a los cambios en el entorno (Vilchis-Mata et al., 2018).

Se utilizó esta metodología específica para realizar un análisis profundo y una mejora significativa del sistema de gestión de residuos sólidos. Gracias a este proceso, se logró identificar las variables clave que tienen un impacto importante en el funcionamiento general del sistema. Entre estas variables se encuentran aspectos cruciales como la separación en origen, que se refiere a la clasificación inicial de los residuos en el lugar donde se generan; el reciclaje, que se ocupa de la recuperación de materiales para su reutilización; el aprovechamiento de los residuos orgánicos, que busca convertir estos materiales en compost o biocombustibles; la

capacidad del relleno sanitario, que se relaciona con la cantidad de residuos que puede manejarse de manera segura; y la disposición final de los residuos, que representa la última etapa en el ciclo de vida de los materiales desechados. A través del uso del software Vensim, se desarrollaron modelos que simularon el comportamiento dinámico del sistema en distintos escenarios. Esta simulación resultó ser una herramienta valiosa, ya que permitió analizar y considerar los cambios en las variables identificadas, las cuales influyen directamente en el rendimiento del sistema en su conjunto, ofreciendo así una visión más clara y detallada de cómo se pueden llevar a cabo mejoras efectivas.

## **9.2 Diagrama de flujo**

Un diagrama de flujo es una representación visual de un algoritmo que presenta de forma secuencial los pasos y procesos necesarios para resolver un problema. Este tipo de diagrama emplea símbolos específicos para mostrar las acciones y decisiones implicadas, lo que ayuda a entender y analizar procedimientos matemáticos y lógicos. (Cuásquer-Viveros & MorenoCortés, 2021).

Estos diagramas son herramientas clave que facilitan de manera significativa el análisis detallado de los procesos y flujos de trabajo dentro del sistema de gestión de residuos. Permiten identificar y visualizar de forma clara y precisa todas las etapas del sistema, comenzando desde la generación de desechos hasta su disposición final. Este recorrido incluye fases importantes como la recolección de residuos, el transporte hacia los centros de tratamiento, así como los procesos de tratamiento que se pueden llevar a cabo, y también abarca las actividades de reciclaje, que son esenciales para la sostenibilidad. De esta manera, se asegura un enfoque integral en la gestión de residuos, optimizando cada etapa del ciclo de vida de los desechos.

## **9.3 Diagramas caudales**

Las causas de los números causales son herramientas visuales utilizadas en epidemias para identificar y representar el curso de la correlación entre las variables, especialmente durante los factores de riesgo y los problemas de salud. Estos números, también conocidos como el gráfico dirigido (DAGS), permite que la visión de las funciones y prejuicios potenciales estudie la epidemia. (Sánchez-Niubò et al., 2016).

Esta herramienta nos permite detallar la interacción diagnóstica de las diversas variables del sistema, que está claramente representada por registros, departamentos, acumulación y transporte de recursos. Esto nos dio una comprensión profunda de la generación de basura a su

comportamiento final. Analizamos los desechos totales, el transporte disponible, el tratamiento y el reciclaje. La relación mutua de estos factores proporciona una visión integrada que facilita la oportunidad de mejorar la gestión de residuos y definir recursos en el sistema.

#### **9.4 Retroalimentación**

El sistema recibe el proceso a través del proceso, para recopilar información, para aplicar el análisis y modificación de la eficiencia y la eficiencia. Este sistema puede adaptarse a los cambios ambientales, mejorar el error y mejorar su funcionamiento continuamente. (Rodríguez & Pérez, 2018).

Las reacciones de todo el proceso solo nos permitieron crear una forma del comportamiento complejo del sistema, pero también hicieron notas valiosas. Contribuyó a una mejor comprensión de las consecuencias a largo plazo de las decisiones tomadas en el desarrollo del proyecto de investigación.

#### **9.5 Modelado**

Según, (Izquierdo et al., 2008) la definición de modelado se explica como un viaje bastante peculiar para confeccionar una representación un tanto simplificada del sistema real, facilitando así una mejor captación de su funcionamiento, o para escudriñar su comportamiento o anticipar su evolución. Los modelos pueden tener formas extravagantes, expresados en matemáticas, computadoras, lenguas informales y naturales, junto con números un tanto curiosos. Este trayecto es dinámico y a menudo destaca comentarios, permitiendo que se realicen ajustes a las estructuras iniciales con base en los resultados obtenidos.

El proceso de modelado resultó bastante provechoso para formar una imagen atenta y precisa del sistema de manejo de desechos GAD Latacunga. Estos protagonistas involucran elementos como basura generada, habilidad de colección y porcentajes de reciclaje. Este método transformó el sistema en una sólida comprensión de su funcionamiento y ayudó a identificar zonas concretas para reformas. El incremento de la recolección en puntos clave fue una sugerencia relevante, lo que potenciaría la eficacia de la comunidad de servicio y beneficio.

#### **9.6 Bucles**

En el contexto del de Dinámicas de sistemas, se define un bucle, la causa del sistema específico y el efecto del efecto como secuencia y cerrado mutuo. Esta cadena cerrada indica que la salida o resultado de la parte del sistema, como resultado, produce una parte anterior del mismo sistema, circular (De Leo et al., 2020).

Los bucles fueron muy importantes, pues gracias a ellos se consiguió entender mejor el Sistema de Manejo de Basura del GAD Latacunga. Ayudaron a ver cómo funciona todo y las cosas raras que pasan ahí dentro. También, se pudo ver qué partes necesitan una mano. Esto fue clave para que el sistema no se cayera a pedazos. Al ver claro cómo todo se conecta, se pudieron tomar buenas decisiones para usar bien los recursos y cuidar el planeta. Así, los giros se volvieron una herramienta genial para ir hacia un sistema mejor y más justo.

### **9.7 Bucle de Retroalimentación negativa**

Es el cual representa un sistema interconectado de relaciones causales que forman una cadena cerrada. En esta cadena, el efecto producido por una determinada variable actúa en dirección opuesta a su causa original. Este mecanismo, tiende a estabilizar el sistema en el que opera, proporcionando una forma de autorregulación. El núcleo de este proceso se basa en la relación entre causa y efecto; en particular, un aumento en la magnitud de una variable dentro del bucle provoca una disminución en otra variable asociada. Esta reducción en la segunda variable, a su vez, tiene un efecto que contrarresta el incremento inicial de la primera variable, llevándola de vuelta a su punto de equilibrio o estado original.(De Leo et al., 2020).

Este tipo de bucle tuvo un impacto significativo en el control de los residuos que se envían al relleno sanitario. Gracias a esto, se llevaron a cabo diversas acciones para mejorar el proceso. Esta dinámica no solo optimizó los recursos disponibles, sino que también los redistribuyó de manera más organizada y eficiente. Así, logramos que el sistema funcionara de manera óptima, lo que ayudó a reducir los costos operativos. Además, esta mejora en la organización benefició el rendimiento general del sistema, permitiendo un tratamiento de residuos más efectivo y sostenible a largo plazo. De esta manera, se establecieron bases sólidas para una gestión eficiente de los residuos, lo cual es crucial en la actualidad.

#### **Figura 1.**

*Bucle de Retroalimentación negativa.*



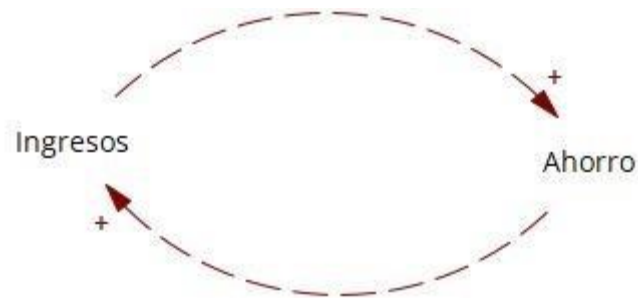
**Elaborado:** (Autores, 2025).

### 9.8 Bucle de Retroalimentación positiva

Según, (De Leo et al., 2020) se trata de un proceso dinámico en el que las relaciones causales entre dos o más variables se refuerzan mutuamente. En esencia, cada variable tiene un impacto en la otra, amplificando sus efectos. Un aumento en una de las variables provoca un incremento en la variable relacionada. Este aumento, a su vez, retroalimenta el sistema, intensificando aún más la primera variable y creando un ciclo auto-reforzante. Este proceso de amplificación continua, sin la intervención de mecanismos de regulación o control, puede llevar al sistema a experimentar un crecimiento exponencial descontrolado. Por otro lado, si la retroalimentación positiva actúa en sentido contrario, disminuyendo las variables, puede resultar en el colapso del sistema, agotando sus recursos o desestabilizando sus componentes esenciales hasta llegar al punto de fallo.

Los bucles de retroalimentación positiva jugaron un papel crucial al potenciar las acciones iniciales que se llevaron a cabo, lo que a su vez facilitó una serie de ciclos de mejora continua. Esto resultó en beneficios significativos, como la disminución de los impactos ambientales de nuestras actividades y la optimización de la eficiencia en los procesos de reciclaje. Este enfoque sistemático permitió que cada avance aumentara la efectividad de los esfuerzos iniciales, creando un efecto virtuoso que promovió la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental.

**Figura 2.** *Bucle de retroalimentación positiva.*



**Elaborado:** (Autores, 2025).

## 9.9 Simulador

Según, (Izquierdo et al., 2008) un simulador es una herramienta o sistema informático que permite ejecutar modelos computacionales para representar y analizar la dinámica de sistemas complejos. Al codificar un modelo formal en un lenguaje de programación, el simulador facilita la realización de inferencias y la obtención de resultados a velocidades que superan las capacidades humanas. Esto permite explorar diferentes escenarios y variaciones dentro del modelo, lo que proporciona una comprensión más profunda de cómo los cambios en las condiciones pueden afectar el comportamiento del sistema estudiado.

La simulación de diferentes escenarios y estrategias no solo ayudó a identificar puntos críticos en la gestión de residuos, sino que también permitió una mejor comprensión de las dinámicas involucradas. Este enfoque facilitó la optimización de recursos en varias áreas y proporcionó una base sólida para hacer proyecciones sobre los resultados a largo plazo, hasta el año 2050. Gracias a este cuidadoso proceso, se estableció un sistema mucho más eficiente y sostenible, que no solo responde a las necesidades actuales, sino que también se adapta proactivamente a los cambios en la comunidad en cuanto al manejo de residuos sólidos. De este modo, se promovió una gestión más adecuada y se favoreció un futuro más limpio y responsable para las próximas generaciones.

## 9.10 Escenario

Un escenario se puede definir, según (Barrera & Guerrero, n.d.), como una representación o descripción detallada de un conjunto específico de condiciones o situaciones hipotéticas que podrían ocurrir en el futuro, ya sea a corto o largo plazo. Estas situaciones imaginadas, fruto de la creatividad y la planificación estratégica, son herramientas muy útiles para anticipar posibles desarrollos futuros. Además, no solo examinan una única posibilidad, sino que también permiten explorar diferentes alternativas y resultados que pueden surgir bajo diversas circunstancias. Al considerar múltiples escenarios, se facilita una mejor preparación y respuesta

ante los desafíos que el futuro pueda presentar, ofreciendo así una visión más amplia de las oportunidades y riesgos que podrían materializarse.

Los escenarios desempeñaron un papel crucial en la mejora del Sistema de Gestión Integral de Desechos del GAD Latacunga mediante la metodología de dinámica de sistemas. Al crear y evaluar diferentes escenarios hipotéticos, se llevó a cabo un análisis exhaustivo sobre cómo diversas políticas y estrategias podían influir en el funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo. Este análisis resultó ser invaluable, ya que permitió identificar las mejores inversiones en infraestructura y evaluar los impactos ambientales y económicos relacionados con cada decisión. Además, se lograron detectar riesgos y oportunidades, elementos esenciales para una planificación efectiva. La utilización de estos escenarios también facilitó la planificación estratégica, promoviendo la participación activa de la comunidad, lo que fomentó un entendimiento común entre los distintos actores y favoreció decisiones más inclusivas y equitativas. De este modo, el uso de escenarios condujo a un sistema de gestión de residuos más eficiente, sostenible y alineado con las necesidades futuras, asegurando un enfoque integral que considera múltiples dimensiones del problema.

### **9.11 Análisis**

El análisis es un proceso metódico que descompone un todo en sus elementos fundamentales para entender sus principios y componentes. Este proceso puede implicar tanto la separación física, como ocurre en el análisis químico, como la descomposición conceptual. Se aplica en diversas disciplinas, adaptándose a sus necesidades, y se contrapone a la síntesis, que busca formar un todo a partir de sus partes (INCINEROX, 2025).

Los análisis realizados fueron fundamentales para mejorar el Sistema de Gestión Integral de Desechos del GAD Latacunga, utilizando la metodología de dinámica de sistemas, que ofrece un enfoque más profundo y estructurado. Al llevar a cabo una evaluación exhaustiva de datos históricos y simular diferentes escenarios, se identificaron diversas ineficiencias y cuellos de botella que obstaculizaban el flujo adecuado en la gestión de residuos, además de revelar oportunidades significativas para mejorar los procesos de recolección, tratamiento y disposición final de los desechos generados. Estos análisis no solo optimizaron el uso de los recursos disponibles, sino que también permitieron prever resultados a largo plazo en la gestión de desechos, ajustando continuamente las estrategias implementadas. Esto llevó a un sistema más eficiente y sostenible, adaptándose a las necesidades cambiantes de la comunidad. La capacidad adquirida para modelar y prever el impacto de diversas políticas sobre la gestión de residuos facilitó la toma de decisiones informadas, promoviendo un manejo más efectivo, responsable y

consciente de los desechos generados, contribuyendo así a la sustentabilidad del entorno y al bienestar de los ciudadanos.

### **9.12 Relleno Sanitario**

Según, (Ullca, 2006) Los rellenos sanitarios son una técnica fundamental en la gestión de residuos sólidos urbanos. Consisten en la disposición de capas de basura compactadas sobre un suelo que ha sido impermeabilizado previamente, lo que ayuda a evitar la contaminación del acuífero. Estas capas de basura se cubren con tierra. El proceso incluye la compactación de los residuos para reducir su volumen, el cubrimiento diario con tierra para controlar olores y plagas, así como la captación y tratamiento de lixiviados y biogás para minimizar el impacto ambiental.

La implementación del relleno sanitario fue crucial para mejorar el Sistema de Gestión Integral de Desechos del GAD Latacunga, utilizando la metodología de dinámica de sistemas. En este proceso, se realizó una identificación exhaustiva de los problemas críticos que afectaban al sistema, destacándose la saturación del espacio disponible y la limitada capacidad para manejar el creciente volumen de residuos generados por la población. Esta situación preocupante llevó a la necesidad de desarrollar e implementar estrategias de optimización efectivas. Entre estas estrategias, se fomentó la separación en la fuente de los residuos, lo que permite clasificar y gestionar de manera más eficiente los diferentes tipos de desechos desde su generación. Además, se trabajó en aumentar la capacidad de tratamiento de los residuos, lo cual es esencial para enfrentar el volumen cada vez mayor que se presenta.

### **9.13 Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos**

Los Gobiernos Autónomos tienen la responsabilidad de garantizar un entorno saludable para todos los ciudadanos, lo que implica la implementación de un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) que sea eficiente. Este sistema debe enfocarse en la prevención, el reciclaje y la gestión efectiva de los residuos sólidos, con el fin de proteger tanto la salud humana como el medio ambiente. Un GIRS efectivo requiere una evaluación de las necesidades y condiciones particulares de cada comunidad, para así elegir y combinar las actividades de gestión de residuos más adecuadas. Estas actividades incluyen la prevención de residuos, el reciclaje y compostaje, así como la incineración y disposición en vertederos que estén diseñados y gestionados de manera segura. Cada una de estas acciones necesita una planificación meticulosa, financiamiento adecuado, y un sistema de recolección y transporte eficiente, que son elementos esenciales para asegurar el éxito de un GIRS y cumplir con la responsabilidad

de los Gobiernos Autónomos en la protección del medio ambiente y la salud de sus ciudadanos (Salazar Rodríguez & Hernández Diego, 2018).

El sistema de gestión integral de residuos sólidos ha mejorado notablemente el Sistema de Gestión Integral de Desechos del GAD Latacunga gracias a la metodología de dinámica de sistemas. Este enfoque permitió una evaluación completa de todos los componentes del sistema, desde la generación hasta la disposición final. Se identificaron ineficiencias y se implementaron estrategias de optimización, como la separación en la fuente, el reciclaje y el compostaje, lo que aumentó la eficiencia del sistema y favoreció la sostenibilidad ambiental, reduciendo los impactos negativos en la comunidad.

#### **9.14 Contaminación**

La contaminación se refiere a la introducción de sustancias o energía en el medio ambiente que perjudican a los seres vivos y a los ecosistemas. Esta puede ser provocada por actividades humanas como la industria, la agricultura, el transporte y la gestión inadecuada de residuos. Los contaminantes incluyen productos químicos tóxicos, residuos sólidos, metales pesados, plásticos y gases que contribuyen al efecto invernadero. También abarca formas de energía como el ruido, la radiación y el calor. La contaminación puede tener efectos muy perjudiciales no solo para el medio ambiente, sino también para la salud humana, causando enfermedades respiratorias, cardiovasculares y varios tipos de cáncer. Además, impacta negativamente en la biodiversidad, afectando a animales y plantas, y alterando el equilibrio de los ecosistemas. (Organización Mundial de la Salud, 2021).

La contaminación tuvo un impacto significativo. Al evaluar sus efectos negativos, se identificaron áreas críticas que necesitaban atención inmediata, como la gestión inadecuada de residuos y la falta de separación en la fuente. Esto llevó a la implementación de estrategias para reducir la contaminación, que incluían programas de reciclaje, compostaje y educación ambiental. Además, se mejoraron los procesos de recolección y tratamiento de residuos para minimizar las emisiones y la contaminación del suelo y el agua. En conjunto, estas acciones aumentaron la eficiencia del sistema de gestión de desechos y promovieron la sostenibilidad ambiental y la salud pública en la región.

#### **9.15 Compostaje**

El compostaje es un proceso ambiental que busca transformar los residuos orgánicos generados en los centros de abastecimiento en un producto útil y beneficioso para el medio ambiente. Este producto, conocido como compost, se obtiene a través de la descomposición controlada de estos

residuos. Esto no solo ayuda a disminuir la cantidad de desechos que terminan en los vertederos, sino que también enriquece el suelo, mejorando su fertilidad y estructura.(Vargas-Pineda et al., 2019).

La implementación del programa de compostaje tendrá un impacto significativo al reducir considerablemente la cantidad de residuos orgánicos que se envían al relleno sanitario. Este proceso no solo ayudará a prolongar la vida útil del relleno, sino que también contribuirá a disminuir los costos operativos relacionados con la gestión de desechos. Al reducir la cantidad de residuos que se descomponen en vertederos, se evita la acumulación de materia orgánica que puede causar problemas ambientales, como la emisión de gases de efecto invernadero. Además, el proceso de compostaje generará un valioso subproducto conocido como compost, que se puede utilizar de manera efectiva como un fertilizante natural en la agricultura. Este compost no solo es beneficioso para mejorar la salud del suelo, sino que también promueve prácticas agrícolas sostenibles que favorecen la producción de cultivos en la región. Al adoptar estas prácticas, se fomenta un ciclo de vida más saludable y equilibrado para el suelo, lo que resulta en cultivos más fuertes y una mayor biodiversidad en el ecosistema agrícola. De esta forma, el compostaje se presenta como una solución integral que no solo aborda la gestión de residuos, sino que también apoya el desarrollo sostenible en la agricultura local.

### **9.16 Reciclaje**

El reciclaje es un proceso clave y necesario en el que se recogen, procesan y convierten materiales que han sido desechados, comúnmente llamados residuos. Estos residuos pueden originarse de diferentes fuentes, como hogares, industrias y comercios, y su adecuada gestión es crucial para garantizar un entorno más limpio y sostenible.(Altadill Colominas et al., 2009). Una vez que se recolectan los materiales, se someten a diversas técnicas que permiten separarlos, limpiarlos y prepararlos para su reutilización. Este tratamiento es fundamental para transformarlos en nuevas materias que puedan ser utilizadas como productos renovados. A través de este proceso de reciclaje, se contribuye de manera significativa a la reducción de residuos que terminan en vertederos, al mismo tiempo que se promueve la sostenibilidad ambiental. Se ha logrado disminuir la cantidad de residuos que llegan al relleno sanitario, prolongando su vida útil y reduciendo los costos operativos. Además, el reciclaje ha permitido recuperar materiales valiosos para su reutilización, generando ingresos y fomentando una economía circular. La metodología de dinámica de sistemas ha facilitado el análisis y la optimización de estos procesos, identificando oportunidades para aumentar la eficiencia y la

participación ciudadana en el reciclaje, contribuyendo así a un sistema de gestión de residuos más sostenible y eficaz.

### **9.17 Residuos**

Los residuos son materiales que se consideran desechos y que son generados como resultado de diversas actividades humanas, las cuales pueden ser de naturaleza industrial, comercial o incluso doméstica. Estos residuos se clasifican en diferentes categorías, entre las cuales se encuentran los residuos sólidos urbanos, que provienen de la vida cotidiana de las personas, los residuos industriales, que son aquellos generados por fábricas y empresas, y los fangos de depuración, que resultan de los procesos de tratamiento de aguas residuales. Es fundamental llevar a cabo una gestión adecuada de estos residuos, ya que esto no solo es esencial para prevenir la contaminación del medio ambiente, sino que también ayuda a fomentar la valorización y el reciclaje de los materiales. Una buena gestión no solo reduce la cantidad de residuos que terminan en vertederos, sino que también promueve prácticas sostenibles que benefician a la sociedad y al entorno (Altadill Colominas et al., 2009).

El análisis detallado de la generación, recolección y disposición de residuos reveló ineficiencias y oportunidades de optimización en la gestión. La metodología de dinámica de sistemas permitió modelar y simular diversos escenarios, facilitando la implementación de estrategias como la separación en la fuente, el reciclaje y el compostaje. Estas acciones no solo mejoraron la eficiencia operativa del sistema, sino que también promovieron la sostenibilidad ambiental y redujeron los impactos negativos en la comunidad, transformando la gestión de residuos en un proceso más efectivo y responsable.

### **9.18 Clasificación de los Residuos**

Según, (Código Orgánico del Ambiente, 2017) establece una jerarquía clara para la administración de los residuos sólidos, lo que significa que define un orden de prioridad en cómo se deben gestionar estos materiales. Esta gestión jerarquizada se basa fundamentalmente en una distinción inicial, dividiendo los residuos en dos categorías principales: aquellos que pueden ser aprovechados o reciclados, y aquellos que, por sus características, no son susceptibles de aprovechamiento.

La clasificación de residuos mejoró significativamente el Sistema de Gestión Integral de Desechos del GAD Latacunga mediante la metodología de dinámica de sistemas. Al implementar un sistema de clasificación en la fuente, se facilitó la separación de materiales reciclables, orgánicos y no reciclables desde el inicio, lo que aumentó la eficiencia en el

tratamiento y reciclaje de residuos y redujo la cantidad de desechos enviados al relleno sanitario. Esta metodología permitió modelar y simular los efectos de la clasificación, optimizando los flujos de residuos y promoviendo prácticas más sostenibles. En conjunto, la clasificación contribuyó a un sistema de gestión de desechos más eficiente, económico y ambientalmente responsable.

### **9.19 Residuos Peligrosos**

Se consideran residuos peligrosos aquellos desechos sólidos, líquidos, pastosos o gaseosos, provenientes de actividades de servicio, producción o consumo doméstico, que poseen características tóxicas, corrosivas, reactivas, inflamables, radiactivas o biológico-infecciosas, representando un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, conforme a la legislación vigente (INCINEROX, 2025).

Los residuos peligrosos han tenido un impacto notable y significativo en el entorno que nos rodea. Al identificarlos de manera precisa y gestionarlos de forma adecuada, se logró minimizar de manera considerable los riesgos tanto ambientales como para la salud pública que están inherentemente relacionados con su manejo inadecuado. La efectiva aplicación de la metodología de dinámica de sistemas permitió modelar de manera detallada los flujos de estos residuos peligrosos y simular diferentes estrategias de gestión que se pueden poner en práctica. Esto no solo facilitó la implementación de prácticas seguras y eficientes en su recolección, tratamiento y disposición, sino que también contribuyó a crear un marco que permite evaluar y adaptar continuamente dichas estrategias. Como resultado, se mejoró la sostenibilidad del sistema de gestión de residuos en general, asegurando una mayor protección tanto para el medio ambiente como para la salud comunitaria. Este enfoque integrado y proactivo es fundamental para enfrentar los desafíos que presentan los residuos peligrosos en la actualidad.

### **9.20 Residuos No peligrosos**

Son residuos aprovechables con bajo impacto ambiental, reciclables o biodegradables, como papel, plástico, vidrio, chatarra, madera y residuos alimenticios no contaminados (INCINEROX, 2025).

Los residuos no peligrosos desempeñaron un papel fundamental en el contexto de la gestión de desechos. Al concentrar esfuerzos en su adecuada gestión y separación, se lograron optimizar de manera significativa los procesos involucrados en la recolección, tratamiento y disposición final de estos residuos. La utilización de la metodología de dinámica de sistemas resultó ser una herramienta clave, ya que permitió analizar de forma detallada y simular diferentes escenarios,

lo que a su vez facilitó la identificación de diversas oportunidades para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados al manejo de residuos. Dentro de estas estrategias, se incluyó la implementación de programas de reciclaje y compostaje, que no solo contribuyeron a disminuir la cantidad de residuos que se enviaban a los vertederos, sino que además promovieron prácticas que son sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Este enfoque integral no solo busca una reducción en el volumen de desechos, sino que también tiene como objetivo generar conciencia sobre la importancia de adoptar hábitos de consumo más responsables. En conjunto, una gestión eficiente de los residuos no peligrosos no solo favoreció un sistema de gestión de desechos más efectivo, económico y sostenible, sino que también fortaleció la capacidad de la comunidad para involucrarse en iniciativas que promueven un entorno más limpio y saludable para todos.

### **9.21 Residuos Especiales**

Estos residuos, ya sean peligrosos o no, y sin importar si son líquidos, pastosos o gaseosos, provienen de actividades productivas o del hogar. Su manejo requiere un tratamiento especial según las normas técnicas establecidas por la Autoridad Ambiental Nacional (INCINEROX, 2025).

Los residuos especiales tuvieron un impacto significativo en el desarrollo y la implementación del proyecto, y esto se abordó utilizando la metodología de dinámica de sistemas, que permite entender las complejidades y las interacciones dentro del sistema de gestión de residuos. Una gestión adecuada y efectiva de desechos, que incluye no solo los médicos y electrónicos, sino también otros tipos de materiales específicos que requieren atención especial, fue fundamental para identificar y mitigar los riesgos tanto ambientales como de salud pública. Este proceso de análisis y simulación de diversos escenarios posibles proporcionó las bases para establecer estrategias sólidas y efectivas para la recolección, tratamiento y disposición segura de estos residuos especiales. A través de estas estrategias, se logró mejorar la eficiencia y la seguridad del sistema de gestión, asegurando que cada etapa desde la generación hasta la eliminación final se realizara de manera controlada y responsable. Además, este enfoque integral no solo benefició directamente el funcionamiento del sistema, sino que también fortaleció significativamente la capacidad institucional del GAD Latacunga para manejar residuos complejos. Esto permite que la región avance hacia un manejo de residuos más sostenible y responsable, promoviendo así un entorno más saludable y seguro para la población y el medio ambiente en general.

## 10. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.

El uso de la metodología de dinámica de sistemas mejorará cualitativamente la gestión de desechos del GAD Latacunga al identificar y abordar las interrelaciones y puntos críticos del sistema.

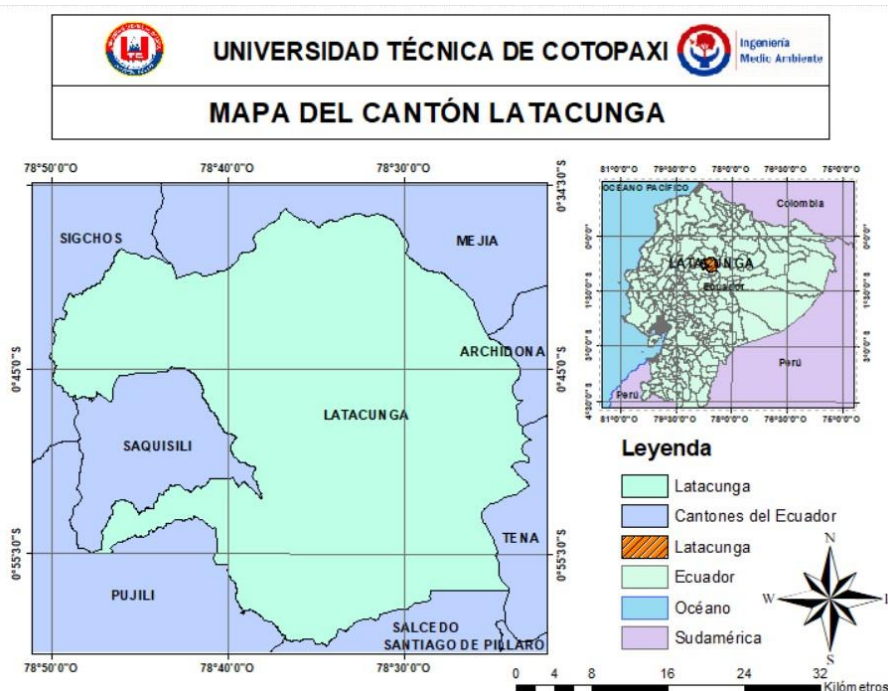
## 11. METODOLOGÍAS

### 11.1 Área de Estudio

Latacunga está estratégicamente situada en el centro de Ecuador, a 89 km al norte de Quito y a 335 km al suroeste de Guayaquil, siendo un importante punto de convergencia entre la Costa, los Andes y la Amazonía. Su nombre, que proviene de "llacta kuna" y significa "Dios de las Aguas", refleja su encanto y tranquilidad. La ciudad cuenta con calles estrechas y rectas, adoquinadas y bordeadas por casas de teja roja con distintiva arquitectura colonial española. Con una superficie de 1,377.2 km<sup>2</sup> y una población de aproximadamente 161,447 habitantes, Latacunga se encuentra a una altitud de 2,850 metros sobre el nivel del mar. Su clima es templado y frío, con una temperatura media anual de 13°C y precipitaciones entre 500 y 1,000 mm. La ciudad se divide en varias parroquias urbanas, como Eloy Alfaro, Ignacio Flores, Juan Montalvo, La Matriz y San Buenaventura (Pastillo-Ortiz & Guamán-Guevara, 2024).

### Figura 3.

*Mapa Cantón Latacunga*



**Elaborado:** (Autores, 2025).

El sitio actual destinado para la disposición de los residuos sólidos que son generados en el cantón Latacunga se halla a una distancia aproximada de 7,5 kilómetros. Este lugar se encuentra ubicado en la vía que conecta Latacunga con Pujilí, y se puede acceder a él a través de la vía Chugchilán, específicamente en el sector conocido como Inchapo. Si se parte desde el parque central de la parroquia Eloy Alfaro, también conocida como San Felipe, la distancia hasta el mencionado sitio de disposición es de alrededor de 6 kilómetros, lo que facilita el transporte y la gestión de los residuos generados en la región (EPAGAL, 2024) **Figura 4.**

*Relleno Sanitario, sector Inchapo*



**Elaborado:** (Autores, 2025).

## **11.2 Enfoque**

### ***11.2.1 Enfoque Cuantitativo***

El enfoque de la investigación que se presenta es de carácter "cuantitativo", lo que significa que se centra en la recolección y el análisis de datos numéricos con el propósito de establecer relaciones y tendencias de manera objetiva y sistemática. Según el estudio de (Torres Fernández, 2016), esta metodología se distingue por la capacidad que tiene para realizar mediciones precisas, lo que es esencial para garantizar la validez de los resultados obtenidos.

El enfoque cuantitativo desempeñó un papel crucial en la investigación para mejorar el sistema de gestión integral de desechos del GAD Latacunga. Permitió cuantificar la generación de desechos en la ciudad, analizando su composición y las variaciones a lo largo del tiempo, lo cual fue fundamental para comprender la magnitud del problema y diseñar soluciones efectivas. Además, facilitó la evaluación de la eficiencia del sistema actual mediante datos numéricos sobre la cobertura de recolección, costos operativos e impacto ambiental. Utilizando modelos

matemáticos y simulaciones, analicé diferentes escenarios futuros de gestión de desechos, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional y los cambios en los hábitos de consumo.

Este enfoque también fue crucial para el desarrollo del modelo de dinámica de sistemas, ya que facilitó la identificación y medición de variables clave, como la generación de residuos y la capacidad de los rellenos sanitarios, estableciendo relaciones cuantitativas para simular su comportamiento del sistema a lo largo del tiempo. La validación del modelo con datos numéricos aseguró su precisión y representatividad. Al final, nos proporcionó herramientas para evaluar opciones de mejora, optimizar la asignación de recursos y hacer un seguimiento del desempeño del sistema, lo que nos permitió tomar decisiones informadas y fundamentadas en evidencia para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la gestión de desechos en Latacunga.

### ***11.2.2 Observación Directa***

La observación directa es una técnica de investigación cualitativa que permite obtener datos precisos a través de la observación sistemática de un fenómeno en su entorno natural. En este estudio, se utilizó para analizar las etapas del manejo de residuos sólidos en el relleno sanitario, abarcando desde la recolección inicial hasta su disposición final.

Se definió de manera clara y concisa el objetivo específico que guiaría la observación, enfocándose especialmente en las prácticas y procedimientos operativos relacionados con la gestión adecuada de residuos sólidos. Para llevar a cabo una evaluación completa, se seleccionaron estratégicamente varios puntos de observación que cubrieron cada etapa del proceso de manejo de residuos. Esto incluyó no solo las áreas de recolección, sino también el transporte, el tratamiento y, finalmente, la disposición final de los residuos. Para facilitar el proceso de observación, se creó un protocolo detallado que especificaba con precisión los diferentes aspectos que debían ser evaluados en cada punto de observación, teniendo en cuenta una variedad de variables importantes. Entre estas variables se encontraban, por ejemplo, el tipo y la cantidad de residuos recolectados, así como los métodos y equipos utilizados durante la recolección y el transporte. También se prestó especial atención a los procedimientos de clasificación y tratamiento, así como a las técnicas adecuadas para la disposición final de los residuos.

La observación se llevó a cabo los lunes, miércoles y viernes, siguiendo de manera rigurosa el protocolo establecido. Se registraron detalladamente las actividades observadas a través de cuadernos de campo, fotografías y grabaciones de video que capturaban momentos clave. Para mejorar la recopilación de datos, se organizó toda la información en un formato estándar,

garantizando consistencia y precisión. Esta información se presentó en una tabla clara que resumía las eficiencias y deficiencias observadas, lo que facilitó un análisis más profundo sobre la gestión de residuos sólidos en la zona evaluada.

El análisis de los datos permitió detectar patrones y tendencias en las prácticas de manejo de residuos. Se llevaron a cabo comparaciones entre diferentes puntos de observación, lo que facilitó la identificación de áreas críticas que necesitan mejoras. Con base en estos hallazgos, se elaboró un informe que incluye conclusiones y recomendaciones específicas para optimizar los procesos de manejo de residuos en el relleno sanitario. La observación directa brindó una comprensión profunda de las prácticas de manejo de residuos sólidos, proporcionando datos empíricos valiosos para la toma de decisiones informadas y la implementación de mejoras.

### ***11.2.3 Análisis Bibliográfico***

La metodología se estructuró en tres fases clave y bien definidas. En primer lugar, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica a nivel internacional, donde se recopilaron y analizaron datos de diversas investigaciones sobre la gestión de residuos. Esta fase permitió identificar tendencias y enfoques utilizados en diferentes contextos alrededor del mundo. Entre los estudios más destacados, se encuentra un modelo implementado en Bangkok, Tailandia, que exploró múltiples escenarios de separación de residuos en la fuente. Este modelo es notable no solo por su innovación, sino también porque logró generar cambios significativos en la vida útil del Relleno Sanitario local en un periodo de apenas cuatro años (Rodríguez Andrade & Ibarra Vega, 2019). La segunda fase consistió en contextualizar esta información para adaptarla al modelado del problema específico en el Cantón Latacunga, teniendo en cuenta las características y desafíos particulares de esa región. Finalmente, la tercera fase implicó el modelado utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas, lo que permitió simular diferentes escenarios para comprender mejor las dinámicas subyacentes en la gestión de residuos y así proponer soluciones adecuadas y efectivas para el contexto local.

(Rodríguez Andrade & Ibarra Vega, 2019), desarrollaron un modelo de gestión de residuos para Teherán, Irán, que integraba variables económicas y políticas. En su estudio, subrayaron la importancia de una planificación adecuada, la implementación de políticas públicas y la participación activa de la comunidad. De manera similar, (Sufian & Bala, 2007) analizaron la gestión de residuos sólidos en Daca, Bangladesh, y encontraron que generar energía a partir de estos residuos es una estrategia efectiva para mitigar los impactos ambientales. También se llevaron a cabo estudios específicos, como el modelo de gestión de residuos orgánicos en

Quebec, Canadá (Hénault-Ethier et al., 2017), y el modelo de residuos de construcción en China (Ding et al., 2016).

Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura que abarcó diversas investigaciones sobre la gestión de residuos sólidos en varios países de América Latina y el Caribe. Esta revisión no solo se centró en los diferentes enfoques y estrategias adoptadas en estos países, sino que también buscó contextualizar el modelado del problema específico en Latacunga, una ciudad que enfrenta desafíos significativos en este ámbito. En este sentido, el documento disponible en el enlace (Sáez et al., 2014) resalta la relación directa entre el aumento poblacional en Chía y la creciente generación de residuos sólidos, lo que pone de manifiesto la necesidad urgente de implementar medidas efectivas. Además, este documento sugiere una serie de planes de acción concretos que buscan mejorar el sistema de gestión de residuos, con el objetivo de abordar de manera integral la problemática ambiental y social que esto conlleva.

Se recopilaron datos cuantitativos para la modelación, consultando el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del 2020, que se obtuvo a través de un derecho de petición a la Empresa Pública de Aseo y Gestión Ambiental Latacunga (EPAGAL). Este documento proporcionó información esencial, como la cantidad de residuos en el Relleno Sanitario, su vida útil, tasas de aprovechamiento, frecuencias de recolección, caracterización de residuos, y el papel de los recicladores y operadores del servicio de aseo, así como proyecciones demográficas y económicas. También se revisaron fuentes como el INEC para obtener datos demográficos.

La revisión bibliográfica se realizó mediante un análisis de contenido detallado, donde se interpretó, comparó, organizó y priorizó la información recopilada. Este proceso tuvo en cuenta tanto el año de publicación como la relevancia de cada fuente, con el fin de generar resultados que reflejaran de manera precisa la realidad. Así, se buscó construir una visión más amplia y fundamentada sobre el tema, asegurando que cada elemento considerado aportara al entendimiento global y al desarrollo de conclusiones informadas. El trabajo se enfocó en proporcionar una base sólida y coherente para futuras investigaciones en este ámbito.

#### ***11.2.4 Dinámica de sistemas***

La Dinámica de Sistemas es una metodología que se utiliza para analizar y resolver problemas, enfocándose en las interacciones causales entre los diferentes atributos de un sistema. Esta metodología permite crear representaciones sistémicas que ayudan a entender y a intervenir en sistemas complejos (Ibarra-Vega & Manuel-Redondo, 2015).

La Dinámica de Sistemas (DS) es una metodología que se utiliza para estudiar y gestionar sistemas complejos, siendo aplicable en diferentes áreas, especialmente en el ámbito empresarial. Su enfoque principal es identificar las variables clave del sistema y las relaciones causales entre ellas, lo que permite modelar y analizar en profundidad los sistemas para mejorar su rendimiento. Con herramientas como el software VENSIM, se facilita la retroalimentación y el análisis de datos, lo que resulta beneficioso para estudiantes, investigadores y empresas al optimizar los resultados de un sistema propuesto (Díaz-Martínez et al., 2019).

La dinámica de sistemas es una metodología que permite modelar y simular el comportamiento de sistemas complejos a lo largo del tiempo. Se centra en entender las interacciones y relaciones entre los elementos que forman un sistema, utilizando diagramas causales y modelos de simulación. Esta herramienta resulta especialmente útil para analizar problemas no estructurados, ya que facilita la identificación de causas y efectos en sistemas multifuncionales. En el ámbito de la gestión del conocimiento, la dinámica de sistemas contribuye a evaluar cómo las prácticas de gestión pueden afectar la producción y sostenibilidad de las organizaciones, permitiendo realizar proyecciones y tendencias que informan la toma de decisiones estratégicas (Moisés Martínez et al., 2013).

La dinámica de sistemas ha jugado un papel crucial en la mejora del Sistema de Gestión Integral de Desechos del GAD Latacunga, al ofrecer una herramienta efectiva que permitió modelar, simular y analizar detalladamente el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo. Esta metodología no solo facilitó la identificación de las complejas interacciones entre diversas variables y procesos, sino que también ayudó a detectar con precisión las ineficiencias existentes y los puntos críticos que necesitaban atención urgente. Gracias a la simulación de diferentes escenarios hipotéticos, se pudo realizar una evaluación exhaustiva de varias estrategias y políticas, lo que contribuyó a optimizar los recursos disponibles y mejorar la toma de decisiones en la gestión de residuos. La dinámica de sistemas brindó una visión integral y global de todo el proceso de gestión de residuos, lo que promovió el desarrollo de soluciones más efectivas, sostenibles y adaptadas a las necesidades cambiantes de la comunidad. Esto es especialmente relevante en un contexto donde una gestión adecuada de los desechos es fundamental para el bienestar social y ambiental de la población.

#### ***11.2.5 Vensim***

Según, (Carrera-Villacrés et al., 2024) Vensim es una herramienta de software diseñada para construir y analizar modelos dinámicos de sistemas complejos. Proporciona una interfaz

intuitiva que permite a los usuarios crear, editar y simular modelos de manera efectiva. En sus funciones esta un editor de ecuaciones para desarrollar representaciones matemáticas de los sistemas, una función de comentarios que permite a los usuarios anotar sus modelos para mayor claridad y comprensión. Este software es útil en campos como la dinámica de sistemas en donde ayuda a visualizar y entender las interacciones dentro de los sistemas a lo largo del tiempo. El diseño amigable del software facilita el proceso de modelado, haciéndolo accesible tanto para principiantes como para usuarios experimentados. Vensim PLE (Personal Learning Edition) está disponible para su descarga, permitiendo a los usuarios explorar sus características y capacidades sin costo. Vensim es una herramienta importante para investigadores y profesionales que buscan analizar y simular sistemas dinámicos

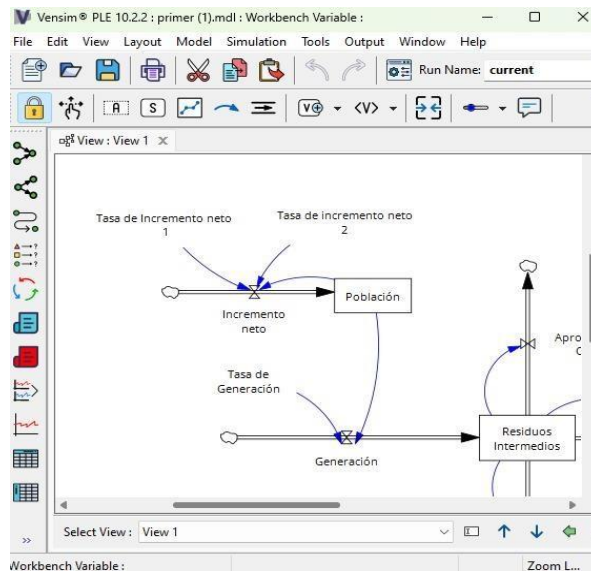
Se utilizó el software Vensim PLE 10.2.2 como herramienta importante en el proyecto de investigación en el cual se aplicó la metodología de dinámica de sistemas. Esta metodología detalló de las interacciones entre diversas variables que afectan el sistema de gestión de residuos. Partiendo de este análisis, se desarrollaron modelos de simulación que reflejan con precisión el comportamiento actual del sistema y permitieron proyectar diferentes escenarios futuros según diversas condiciones y decisiones.

Para realizar estas simulaciones y asegurar su validez, era importante tener información precisa sobre los aspectos críticos, como la población del área, la tasa de crecimiento poblacional, la cantidad total de desechos generados, el porcentaje de desechos orgánicos y la cantidad de desechos potencialmente reciclables. Por haber implementado estos modelos, se pudieron identificar claramente las ineficiencias en el sistema actual. Se evaluaron varias estrategias de mejora como: la separación en la fuente de desechos y la promoción del reciclaje; esto permitió simular las estrategias virtualmente antes de ponerlas en práctica. Esta perspectiva ayudó a la anticipación de las consecuencias de decisiones lo que ayudó a reducir en su mayoría el riesgo de cometer errores costosos.

Por La capacidad del procesamiento del software Vensim en datos complejos y generación de visualizaciones claras tuvo la interpretación de los resultados y la comunicación efectiva para los tomadores de decisiones de manera simplificada; la visualización permitió que los responsables del GAD Latacunga tomaran decisiones más favorables, optimizando el sistema de gestión de residuos. Se mejoró la sostenibilidad como la eficiencia de las operaciones en el manejo de desechos del GAD Latacunga. Esta visión bien fundamentada fortaleció la base para

tener un sistema de gestión de residuos más eficiente el cual estará preparado para enfrentar los desafíos ambientales actuales los cuales son cada vez más complicados.

**Figura 5** Software Vensim PLE 10.2.2.



**Elaborado:** (Autores, 2025).

### 11.3 Tipo de investigación

Esta investigación es no experimental ya que se observa los fenómenos que están desarrollándose en su medio sin cambiar ninguna variable existente en ese momento como indican (Hernández Sampieri et al., 2014). La metodología de dinámicas de sistemas utilizada involucra la creación de modelos para la simulación de modelos los cuales se analizaron a fondo en base al sistema de desechos y con ello sugerir mejoras practicables, sin intervenir directamente en el área de estudio.

Según (Arias, 2012)., la investigación experimental se caracteriza por manipular y controlar las variables, y esto no se aplica a los estudios basados en simulaciones como el actual presentado. Por lo tanto, esta investigación siguió un diseño no experimental el cual realizó un análisis muy bien descrito de las condiciones existentes para comprender mejor la situación y los problemas detectados. Esto ayudó a proponer soluciones efectivas y fundamentadas, que contribuyan a la mejora del sistema de desechos del GAD Latacunga, tomando en cuenta el entendimiento integral de la realidad observada y con ello no realizar intervenciones directas en el contexto evaluado.

El enfoque no experimental fue importante para estudiar y analizar la investigación, ya que con este tipo de enfoque se analizó al sistema sin manipularlo y que con ello cambien sus variables.

Teniendo en cuenta que fue descriptivo-explicativo el estudio este se centró en la observación y análisis de datos existentes impidiendo la intervención directa en la gestión de residuos. Se reunió información referente a la generación, recolección, transporte y disposición de residuos en Latacunga, lo que favoreció a la modelación del estado actual y la proyección de futuros escenarios mediante el software Vensim. Este tipo de metodología cedió el paso a la simulación de diversas situaciones sin pruebas en el mundo real, evitando costos elevados y posibles impactos negativos. Se estudiaron las conexiones entre actores y procesos tales como la recolección, reciclaje y disposición final, sin cambiar su desempeño. El enfoque no experimental ofreció una perspectiva sistémica que identificó ineficiencias y oportunidades de mejora en la gestión de residuos del GAD Latacunga, asegurando una evaluación objetiva y basada en evidencia.

## **11.4 Marco Legal**

### ***11.4.1 Constitución de la República del Ecuador***

Con respecto al ambiente sano, mencionado en la sección segunda menciona que:

Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Art.14).

El artículo 15 menciona:

El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional(Constitución de la República del Ecuador, 2008, Art.15).

### ***11.4.2 Código Orgánico del Ambiente***

Según (Código Orgánico del Ambiente, 2017, Art.224) menciona que la a gestión integral de los residuos y desechos está sometida a la tutela estatal cuya finalidad es contribuir al desarrollo sostenible, a través de un conjunto de políticas intersectoriales y nacionales en todos los ámbitos de gestión, de conformidad con los principios y disposiciones del Sistema Único de Manejo Ambiental.

El Art 226 menciona sobre el principio de jerarquización. La gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad:

1. Prevención
2. Minimización de la generación en la fuente
3. Aprovechamiento o valorización
4. Eliminación
5. Disposición final

La disposición final se limitará a aquellos desechos que no se puedan aprovechar, tratar, valorizar o eliminar en condiciones ambientalmente adecuadas y tecnológicamente factibles.

La Autoridad Ambiental Nacional, así como los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos, promoverán y fomentarán en la ciudadanía, en el marco de sus competencias, la clasificación, reciclaje, y en general la gestión de residuos y desechos bajo este principio(Código Orgánico del Ambiente, 2017, Art. 226).

Con respecto al Art 231 nos menciona que:

Serán responsables de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos a nivel nacional, los siguientes actores públicos y privados:

1. La Autoridad Ambiental Nacional como ente rector que dictará políticas y lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos en el país y elaborará el respectivo plan nacional. Asimismo, se encargará de la regulación y control.
2. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos serán los responsables del manejo integral de residuos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios generados en el área de su jurisdicción, por lo tanto, están obligados a fomentar en los generadores alternativas de gestión, de acuerdo al principio de jerarquización, así como la investigación y desarrollo de tecnologías. Estos deberán establecer los procedimientos adecuados para barrido, recolección y transporte, almacenamiento temporal de ser el caso,

acopio y transferencia, con enfoques de inclusión económica y social de sectores vulnerables. Deberán dar tratamiento y correcta disposición final de los desechos que no pueden ingresar nuevamente en un ciclo de vida productivo, implementando los mecanismos que permitan la trazabilidad de los mismos. Para lo cual, podrán conformar mancomunidades y consorcios para ejercer esta responsabilidad de conformidad con la ley. Asimismo, serán responsables por el desempeño de las personas contratadas por ellos, para efectuar la gestión de residuos y desechos sólidos no peligrosos y sanitarios, en cualquiera de sus fases.

3. Los generadores de residuos, en base al principio de jerarquización, priorizarán la prevención y minimización de la generación de residuos sólidos no peligrosos, así como el adecuado manejo que incluye la separación, clasificación, reciclaje y almacenamiento temporal; en base a los lineamientos establecidos en la política nacional y normas técnicas.

4. Los gestores de residuos no peligrosos que prestan el servicio para su gestión en cualquiera de sus fases, serán responsables del correcto manejo, para lo cual deberán enmarcar sus acciones en los parámetros que defina la política nacional en el cuidado ambiental y de la salud pública, procurando maximizar el aprovechamiento de materiales (Código Orgánico del Ambiente, 2017, Art. 231).

#### ***11.4.3 Acuerdo N° .062 reforma del libro VI del texto unificado de la legislación secundaria***

EL Art 49 del capítulo VI de gestión integral de residuos sólidos No peligrosos y desechos peligrosos y Especiales nos menciona que:

Se establecen como políticas generales para la gestión integral de estos residuos y/o desechos y son de obligatorio cumplimiento tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles de gobierno, como para las personas naturales o jurídicas públicas o privadas, comunitarias o mixtas, nacionales o extranjeras, las siguientes: a) Manejo integral de residuos y/o desechos;

b) Responsabilidad extendida del productor y/o importador;

c) Minimización de generación de residuos y/o desechos;

d) Minimización de riesgos sanitarios y ambientales;

e) Fortalecimiento de la educación ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación con el manejo de los residuos y/o desechos;

f) Fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y/o desechos, considerándolos un bien económico, mediante el establecimiento de herramientas de aplicación como el principio de jerarquización:

1. Prevención
  2. Minimización de la generación en la fuente
  3. Clasificación
  4. Aprovechamiento y/o valorización, incluye el reuso y reciclaje
  5. Tratamiento y 6. Disposición Final.
- g) Fomento a la investigación y uso de tecnologías que minimicen los impactos al ambiente y la salud;
  - h) Aplicación del principio de prevención, precautorio, responsabilidad compartida, internalización de costos, derecho a la información, participación ciudadana e inclusión económica y social, con reconocimientos a través de incentivos, en los casos que aplique;
  - i) Fomento al establecimiento de estándares mínimos para el manejo de residuos y/o desechos en las etapas de generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final;
  - j) Sistematización y difusión del conocimiento e información, relacionados con los residuos y/o desechos entre todos los sectores;
  - k) Aquellas que determine la Autoridad Ambiental Nacional a través de la norma técnica correspondiente
- (Acuerdo No. 61 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, 2015, Art.49).

De igual manera el Art 55 De la gestión integral de residuos y/o desechos sólidos no peligrosos, nos menciona que:

La gestión integral constituye el conjunto de acciones y disposiciones regulatorias, operativas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación, que tienen la finalidad de dar a los residuos sólidos no peligrosos el destino más adecuado desde el punto de vista técnico, ambiental y socio-económico, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos de tratamiento, posibilidades de recuperación y aprovechamiento, comercialización o finalmente su disposición final. Está dirigida a la implementación de las fases de manejo de los residuos sólidos que son la minimización de su generación, separación en la fuente, almacenamiento, recolección, transporte, acopio y/o transferencia, tratamiento, aprovechamiento y disposición final. Una gestión apropiada de residuos contribuye a la disminución de los impactos ambientales asociados a cada una de las etapas de manejo de éstos (Acuerdo No. 61 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, 2015, Art. 55).

## 11.5 Fórmulas

### Ecuación 1.

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

### Ecuación 2.

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

#### 11.5.1 Taza de crecimiento poblacional

De acuerdo con (Torres-Degró, 2011), la tasa de crecimiento aritmético, que también se conoce como crecimiento lineal, representa el modelo más sencillo de todos. Este modelo supone que la población aumenta en una cantidad constante durante cada unidad de tiempo, lo que significa que, independientemente del paso de los años, se espera que la población crezca de manera uniforme y predecible. De esta manera la tasa de crecimiento se mantiene constante, lo que posibilita el cálculo y el entendimiento de cómo se desarrollará la población a lo largo del tiempo.

La fórmula para calcular la tasa de crecimiento aritmético es::

### Ecuación 3.

$$T = \left( \frac{Pf}{Pi} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

**Donde:**

**T** = Tasa de crecimiento anual

**Pf** = Población final

**Pi** = Población inicial

**n** = Número de años transcurridos

#### 11.5.2 Crecimiento exponencial

Según (Parra et al., 2019), menciona que el fenómeno del crecimiento exponencial se explica de manera práctica a través del modelo poblacional propuesto por Malthus.

Este tipo de modelo dice que una población llega a expandirse a una velocidad que es directamente proporcional a su tamaño en un instante particular, asume que las tasas de natalidad y mortalidad se mantienen constantes a lo largo del tiempo, lo que ayuda a un crecimiento supuestamente indefinido en el corto plazo. Sin embargo, es importante considerar que este enfoque expresa varias limitaciones relacionadas. Con el paso del tiempo los recursos utilizables para mantener a la población comienzan a agotarse, lo que actúa como una restricción para el crecimiento poblacional. Aunque el modelo de Malthus brinda una visión interesante sobre el crecimiento demográfico, también pone conocimiento sobre la necesidad de considerar factores externos que puedan frenar dicho crecimiento a largo plazo.

La fórmula para calcular el crecimiento exponencial de una población:

**Ecuación 4.**

$$Pf = Pi * (1 + r)^t \text{ Donde:}$$

***Pf*** = Población final.

***Pi*** = Población inicial.

***r*** = Tasa de crecimiento anual

***t*** = Número de períodos

Para el cálculo del crecimiento exponencial en el cantón de Latacunga, es importante tener en cuenta tres factores esenciales: la población inicial con la que se parte, la población final que se espera alcanzar y la tasa de crecimiento anual que se aplica en este contexto. Con estos datos significativos, se podrá realizar un análisis detallado sobre cuántos habitantes habrá en el cantón después de un periodo de dos años, considerando así las variaciones demográficas y el crecimiento poblacional proyectado en ese lapso.

**Definición de variables para el análisis dinámico en el diagrama de causales**

Según, (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019, Art. 615) nos menciona las fases del Sistema GIRS. La simulación analizó la evolución temporal de estas variables.

1) Fase de Generación: Se analizaron las variables causales de la generación per cápita de desechos, clasificados por origen, incluyendo población, generación de residuos intermedios, orgánicos y reciclables.

Fase de Almacenamiento y Transporte: Se diagraman las variables causales, como la recolección de residuos y las estaciones de transferencia, cruciales para optimizar el GIRS en las fases de reciclaje y revalorización.

Fases de Eliminación y Disposición Final: Se considera la capacidad del relleno sanitario y los residuos dispuestos en él como variables clave. El aprovechamiento de orgánicos se orienta principalmente a su eliminación. Observar **Tabla 2**.

### 11.5.3 Variables

**Tabla 2.** *Variables de Gestión Integral de Residuos*

<b>Variable</b>	<b>Importancia</b>
<b>Población</b>	Crecimiento Neto de la Población.
<b>Residuos Recolectados</b>	Cantidad de residuos que entran al sistema.
<b>Residuos Dispuestos en el Relleno Sanitario</b>	Genera alteración en el espacio necesitado.
<b>Generación de Residuos</b>	Relacionada directamente con la población.
<b>Reciclaje</b>	Ayuda a la disposición final y el aprovechamiento en la fuente.
<b>Recolección de residuos</b>	Cantidad de residuos que entran al sistema.
<b>Disposición Final</b>	Volumen del relleno
<b>Separación en la fuente</b>	Ayuda a la disposición final y el aprovechamiento en la fuente.
<b>Capacidad del relleno sanitario</b>	Espacio disponible.

**Elaborado:** (Autores, 2025).

## 12. Análisis y Discusión de Resultados

### 12.1 Analizar cómo se maneja el sistema de recolección de residuos del GAD Latacunga en términos de eficiencia.

La gestión de residuos en la ciudad de Latacunga se basa en un sistema de recolección de desechos que está debidamente organizado y estructurado. En la zona urbana, el almacenamiento de residuos sólidos se lleva a cabo de manera totalmente contenerizada, lo que garantiza un manejo más eficiente y seguro de los desechos. Además, se tiene la intención de implementar un sistema similar en la zona rural para asegurar que la gestión de residuos sea uniforme y efectiva en todo el municipio. Las condiciones que se han establecido para estas prácticas son las siguientes:

**Contenedores Especializados:** Se lleva a cabo la utilización de una variedad de contenedores que tienen diferentes capacidades, incluyendo opciones de 1,300 litros, 2,400 litros, y 2,800 litros. Estos contenedores son recolectados de manera cuidadosa por vehículos que han sido específicamente diseñados y adaptados para cada tipo de recipiente, asegurando así el proceso de recolección y adecuado para las distintas necesidades de almacenamiento y transporte de los materiales (EPAGAL, 2024).

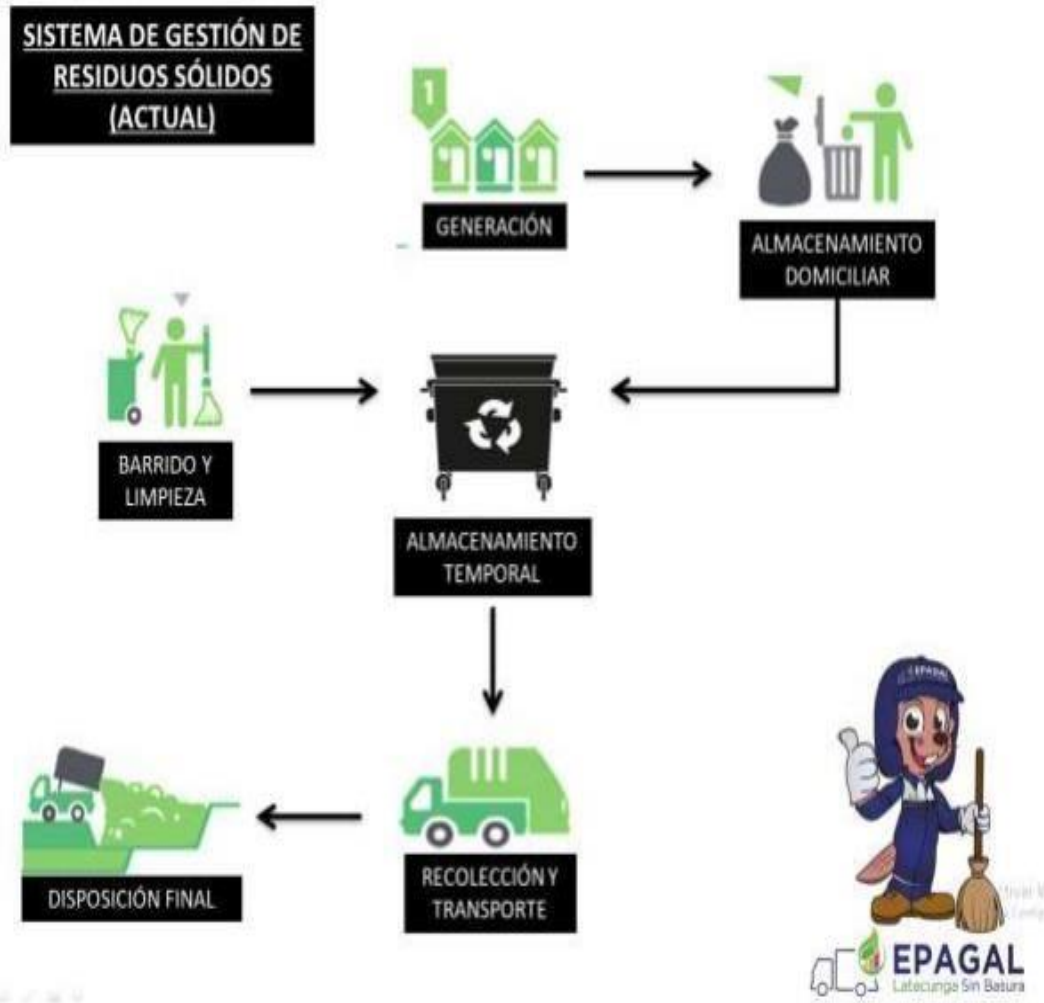
**Recogida Programada:** Se utilizan camiones que están adaptados con sistemas hidráulicos avanzados, lo que nos hace más fácil la recolección de materiales eficiente y rápida. Este tipo de tecnología nos da la facilidad que el proceso de recolección se realice de forma más efectiva, ahorrándonos el tiempo y los recursos involucrados.

**Separación de Residuos:** Las islas orgánicas se introducen particularmente para separar los desechos reciclables. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, a pesar de esta iniciativa, actualmente no existe un sistema de procesamiento que sea efectivo y correcto. Esto significa que, aunque hay habitaciones diseñadas para facilitar la clasificación de estos materiales, el proceso de procesamiento generalmente no es óptimo.

**Rutas del Servicio de Recolección:** La gestión de residuos sólidos urbanos en el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Latacunga presenta problemas significativos, particularmente en la optimización de las rutas de recolección y la ubicación estratégica de contenedores. Si bien el sistema actual cumple con una función básica, su eficiencia se ve comprometida por una cobertura incompleta y una planificación deficiente, generando problemas negativos que impactan la salud pública y el medio ambiente. La limitación en la cobertura geográfica de las rutas de recolección es un problema central. La accesibilidad restringida a zonas con topografía compleja impide la prestación de un servicio general. Esta situación no solo priva a los residentes de un servicio esencial, sino que fomenta la acumulación ilegal de residuos, creando focos de contaminación.

**Figura 6.**

*Sistema de Gestión de los Residuos Sólidos (ACTUAL).*



Elaborado: (EPAGAL, 2024).

**Tabla 3.**

*Eficiencias y Deficiencias Encontradas en el Sistema.*

Eficiencia de Recolección	Deficiencia
---------------------------	-------------

---

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ rapidez y proceso.</li> </ul>	<p>gía adecuada pdel que mejora la efectividad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Falta de conciencia ambiental en los moradores del Cantón Latacunga (Zona Urbana).</li> <li>○ Una de las principales deficiencias en la gestión de residuos es la falta de horarios estratégicos para la recolección. Esto provoca acumulaciones de basura en las calles, afectando la salubridad y la imagen urbana. Es determinante establecer un cronograma adaptado a las necesidades de cada área para optimizar el proceso y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.</li> <li>○ La gestión de residuos se ve afectada por la falta de puntos estratégicos para la recolección, rutas eficientes y una adecuada distribución de contenedores.</li> <li>○ La falta de un sistema de reciclaje se ha introducido completamente a pesar de los contenedores para lo reciclable, no existe un protocolo claro en la recolección de estos materiales lo que podría conducir a la pérdida de recursos valiosos.</li> <li>○ La ausencia del sistema de tratamiento de residuos orgánicos: la falta de proceso de uso de residuos orgánicos es una falta de déficit que promueve la sobrecarga de vertedero sanitario y reduce su vida útil.</li> </ul>
--	--	---

---

**Elaborado:** (Autores, 2025).

La gestión de residuos de Latacunga tiene varias fortalezas importantes que promueven un sistema más eficiente y ordenado. Estas fortalezas incluyen la organización del sistema de recolección correcta que permite la recolección regular y planificada, así como el uso de la tecnología apropiada, como vehículos y herramientas especializadas que facilitan la recolección en la ciudad. A pesar de estos beneficios, sin embargo, también hay deficiencias significativas que requieren atención y mejora. Por un lado, se observa la falta de un sistema de reciclaje efectivo, lo que permite materiales reutilizables para nuevos productos que pueden reducir la

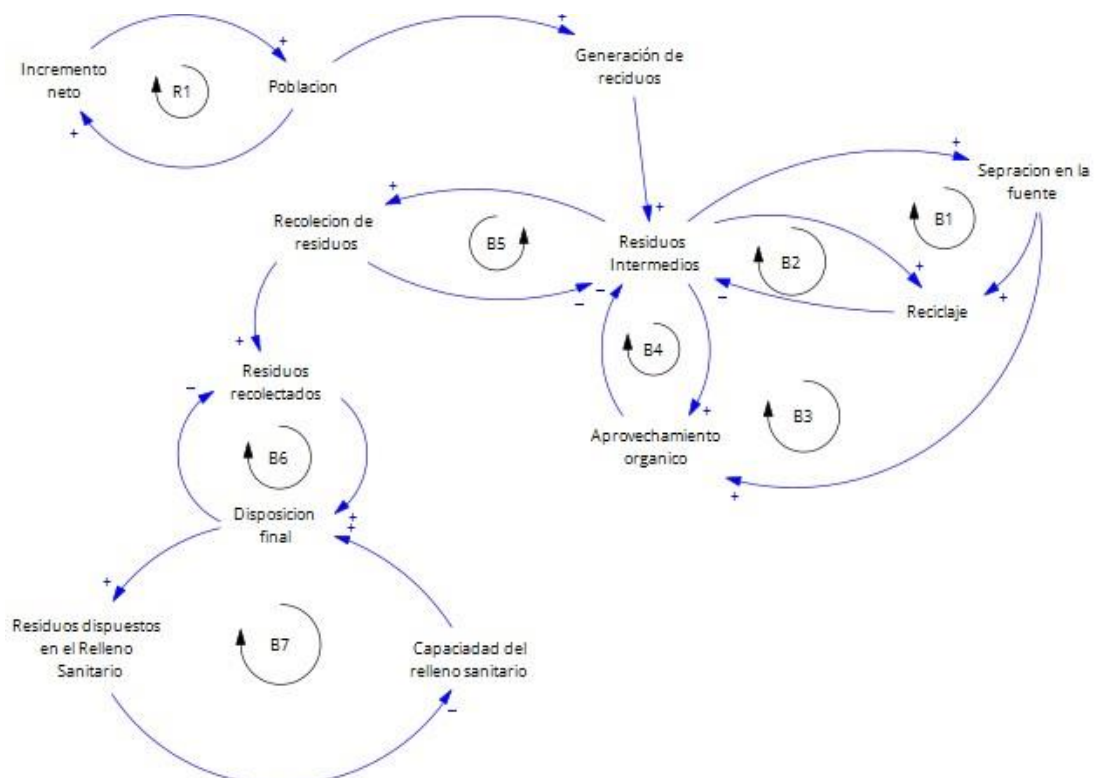
cantidad de desechos generados y los beneficios ambientales. Además, la purificación de residuos orgánicos sigue siendo un gran desafío para evitar la contaminación y promover la sostenibilidad ya que el comportamiento adecuado de estos desechos es esencial. Otro aspecto de la consideración es la necesidad de poner fin a las áreas rurales, ya que muchas áreas aún carecen de contenedores suficientes para recolectar desechos, dificultar la gobernanza efectiva y contribuir a la interrupción y los problemas de salud.

Para mejorar la gestión de residuos en Latacunga, un sistema de procesamiento integral, se deben implementar alianzas con empresas de procesamiento y campañas de atención para facilitar la separación del origen. Es importante desarrollar un programa de compostaje anaeróbico o un programa digestivo para el tratamiento de residuos orgánicos. Además, para garantizar una recolección eficiente, se debe completar un área rural. Fortalecer la educación ambiental y la creación de indicadores de rendimiento monitorearán y mejorará continuamente el sistema.

### Construir un modelo dinámico en el software Vensim que represente el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo

**Figura 7.**

*Diagrama de los elementos que afectan las variables del análisis en el sistema integral de manejo de residuos sólidos.*

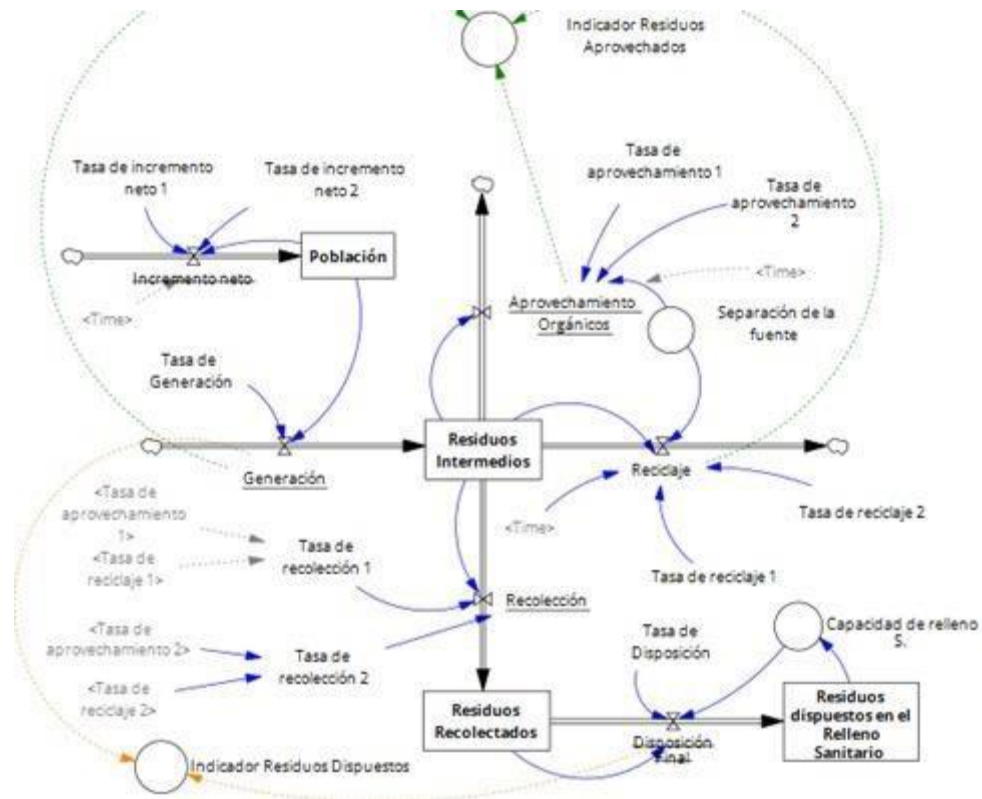


**Elaborado:** (Autores, 2025).

El diagrama (**Figura 7.**) presenta un sistema de gestión de residuos modelado a través de bucles causales interconectados. El bucle principal (R1) describe el ciclo de crecimiento poblacional y su consiguiente generación de residuos, que a su vez impacta el crecimiento de la población mediante factores de salud y bienestar. Los bucles B1 a B7 detallan procesos específicos dentro del sistema, como la separación en origen, reciclaje, aprovechamiento orgánico y disposición final en rellenos sanitarios, ilustrando las interdependencias entre las etapas. Por ejemplo, una mayor separación en origen (B1) impulsa el reciclaje (B2) y el aprovechamiento orgánico (B3), disminuyendo la cantidad de residuos destinados a rellenos sanitarios (B7). La capacidad del relleno sanitario (B7) también influye en la disposición final y, potencialmente, en la generación futura de residuos. En su conjunto, el diagrama ofrece una perspectiva sistémica de las interacciones entre los componentes de la gestión de residuos y cómo un cambio en un área repercute en todo el sistema.

**Figura 8.**

*Diseño dinámico del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos.*



**Elaborado:** (Autores, 2025).

**Nota:** Este diagrama ofrece una visión integral del sistema de gestión de residuos, subrayando la interconexión de sus componentes y la importancia de estrategias efectivas para reducir los residuos dispuestos y aumentar el aprovechamiento.

### ***12.1.1 Análisis del Sistema de Flujo***

Para comenzar de manera apropiada este diagrama se emplearon las **Ecuación 1. y Ecuación 2.** como guía, estas incorporan las variables de residuos sólidos aprovechables, residuos sólidos generados y residuos sólidos dispuestos adecuadamente las cuales están implícitas en el modelo.

Para concluir con la elaboración del diagrama de niveles y flujos se desarrolló el modelo matemático mediante ecuaciones de nivel, flujo y auxiliares.

Este diagrama de flujo muestra el recorrido de los residuos desde su generación hasta su disposición final, destacando la influencia de diversos factores en el proceso. La población y su tasa de generación determinan la cantidad de residuos intermedios, una parte de los cuales se destina al aprovechamiento orgánico o al reciclaje tras la separación en origen. La eficiencia de estos procesos está dada por las tasas de aprovechamiento y reciclaje, respectivamente. Los residuos no aprovechados son recolectados (con una tasa de recolección que indica la cobertura del servicio) y finalmente dispuestos en rellenos sanitarios, cuya capacidad es un factor limitante. El diagrama también incluye bucles de retroalimentación, donde un cambio en un factor puede afectar a otros, como una mayor tasa de reciclaje que disminuye la cantidad de residuos dispuestos. Además, se incluyen variables de tiempo que reconocen que algunos procesos, como el aprovechamiento de materia orgánica, requieren un período determinado.

### ***12.1.2 Resultados de la simulación***

Una vez que el problema fue definido y estructurado a través de un análisis cualitativo, incorporó datos cuantitativos para dar mayor realismo al modelo. Para lograr esto, se procedió a simular el modelo desarrollado, esta simulación se alimentó con datos específicos, los cuales fueron recopilados durante una exhaustiva revisión bibliográfica sobre el tema. El proceso de simulación se diseñó para evaluar el comportamiento del modelo bajo diferentes escenarios basados en la evidencia cuantitativa obtenida. La herramienta utilizada para hacer esta simulación fue el software para Vensim Ple, que es una plataforma especializada en el modelado y modelado de sistemas dinámicos, que facilita la introducción y el análisis de los resultados.

### ***12.1.3 Validación del Modelo***

La calibración del modelo implica la optimización de todas sus variables y corrientes. Esto se hace comparando los resultados de la simulación con los datos y las tendencias observadas en la revisión bibliográfica. El objetivo es ser demasiado leal para personalizar el modelo para reproducir el comportamiento real descrito en estudios anteriores. La validación es otro paso

que tiende a repetirse, en su lugar, se centra en el análisis de errores que ocurre al comparar los resultados del modelo con datos independientes. El objetivo principal del área es reducir estos errores para garantizar la confiabilidad y estabilidad de los resultados futuros del modelo. El estudio sobre (Medina et al., 2023) enfatiza la importancia de la validación para determinar la confiabilidad y la capacidad predecible del modelo.

Para modelar, un análisis poblacional exhaustivo es clave, la población es la variable con más datos y base del modelo. En 2020 según, (INEC, 2022) reportó 217.761 habitantes en Latacunga. Este valor valida la precisión del modelo y su concordancia con la demografía real, reforzando su validez y fiabilidad.

### Figura 9.

*Crecimiento poblacional Latacunga.*



**Elaborado:** (Autores, 2025).

**Nota:** Datos reales contra datos simulados para afinar el modelo Vensim.

Comparando los resultados obtenidos a través del modelo con los proporcionados por el INEC, se puede afirmar que el modelo sigue la trayectoria de los datos reales. Además, el mayor error relativo registrado fue del 5%, indicando que la disparidad entre los valores no es significativa y que los datos modelados representan de manera cercana la realidad de la población en la ciudad.

**Figura 10.***Datos EPAGAL contra datos Simulados***Elaborado:** (Autores, 2025).

La **Figura 10.** presentada ofrece una visión detallada de la evolución de los residuos sólidos a lo largo del tiempo, mostrando la cantidad en toneladas por año en un marco temporal que va desde el año 2020 hasta el año 2050. En él se comparan dos conjuntos de datos relevantes: uno obtenido a través de una simulación modelada (representado por la línea azul) y otro basado en los registros y datos de EPAGAL (indicado con la línea naranja). Analizando ambas líneas, se observa que ambos a lo largo de los años están siguiendo la tendencia creciente en la creación de residuos. Sin embargo, es importante enfatizar que la simulación espera un aumento mucho más excelente en los desechos, que se espera que supere las 140,000 toneladas por año alrededor de 2050. Por otro lado, los datos proporcionados por EPAGAL muestran un modelo de crecimiento más moderado que permanece menos de 100,000 toneladas por año durante el mismo período. Esta diferencia significativa entre las dos proyecciones podría estar relacionada con los diversos supuestos utilizados en los modelos de control y eficiencia adoptados en la destrucción final de los desechos. Es posible que cada conjunto de datos se base en una variedad de métodos o escenarios económicos y sociales que afectan la generación de residuos. A pesar de estos cambios de predicción, la tendencia al alza de la generación de residuos sólidos enfatiza claramente la creciente necesidad de desarrollar e implementar estrategias efectivas que promuevan la cantidad de desechos generados. Además, es importante mejorar el grado de procesamiento y optimizar los procesos de tratamiento de residuos. Estas actividades son muy

importantes en el área para evitar la saturación de los sistemas destinados a la destrucción final de los desechos y reducir el impacto potencial en el medio ambiente, lo que puede ser una falta de tratamiento de residuos, a medida que la población y el consumo continúan aumentando.

## 12.2. Comparar los escenarios simulados para identificar cuál es el más eficiente a lo largo del tiempo.

**Figura 11.**

*Comportamiento de la Disposición Final en diferentes escenarios*



**Elaborado:** (Autores, 2025).

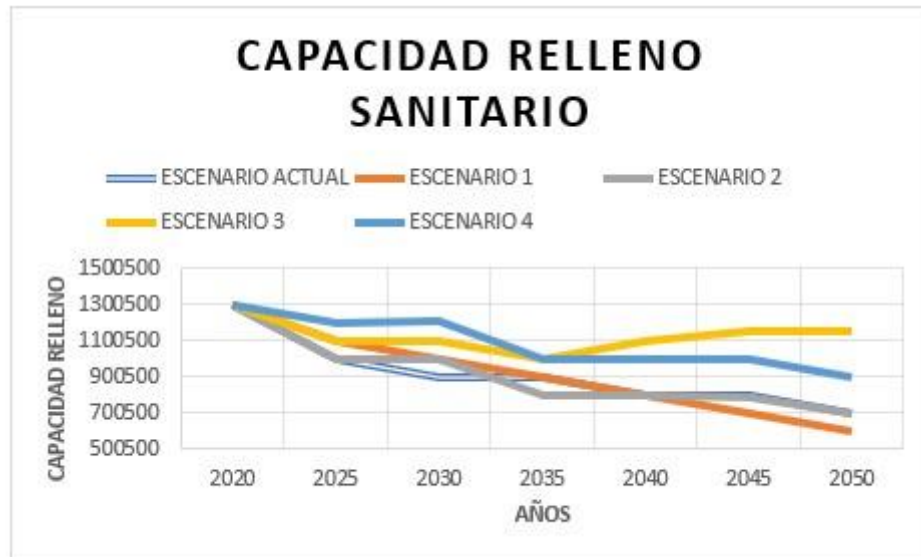
La **Figura 11.** ilustra claramente el pronóstico de la eliminación de desechos fijos para 2050 en cinco escenarios, mostrando un aumento permanente en su generación. El escenario 3 se destaca para mostrar los valores más bajos en la recolección de residuos, lo que indica un control eficiente, reduciendo la fuente y promover el reciclaje, lo que es importante para reducir el impacto ambiental. Por el contrario, el escenario 4 causa un aumento significativo en la eliminación de residuos, lo que revela deficiencias en infraestructura y políticas públicas, que plantea un riesgo ambiental que mejora con urgencia la gestión de residuos.

El escenario 1 muestra una ligera mejora en la situación actual, pero es insuficiente en comparación con el escenario 3, lo que enfatiza la necesidad de enfoques innovadores y una mayor participación social en la gestión de residuos. Escenario 2, que coincide con el primero enfatiza importancia de estrategias educativas que fomenten el reciclaje en la vida cotidiana. El escenario 3 se propone como una solución efectiva para lograr un futuro sostenible en la gestión

de residuos, que depende del desarrollo urgente de una política nacional que beneficie tanto al medio ambiente como a las comunidades. Esto enfatiza la necesidad de actuar de manera proactiva para garantizar un procesamiento adecuado de los desechos, teniendo en cuenta el medio ambiente y las consecuencias sociales de la creación de residuos.

**Figura 12.**

*Comportamiento de la capacidad del Relleno Sanitario en diferentes escenarios*

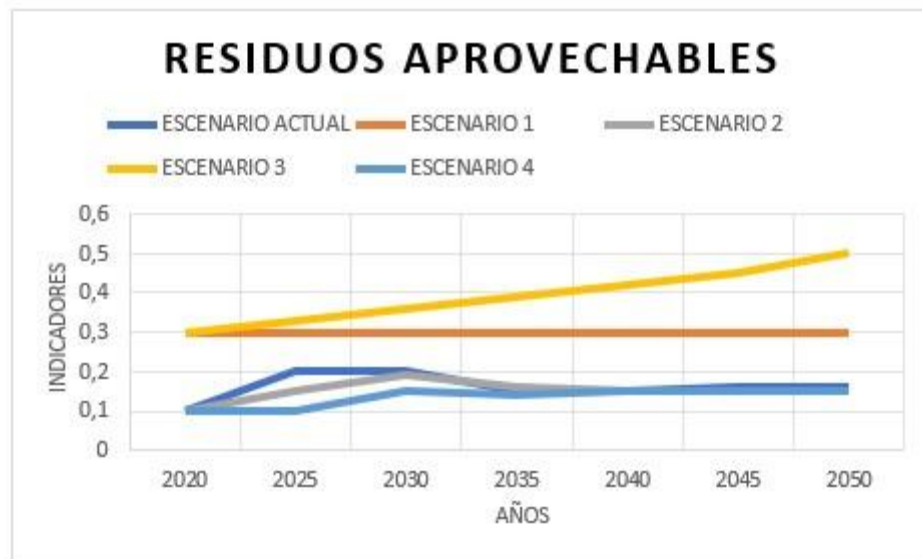


**Elaborado:** (Autores, 2025).

La **Figura 12.** ilustra claramente la capacidad del vertedero utilizando una serie de escenarios proyectados que alcanzan 2050. El diagrama muestra que la capacidad del vertedero tiende a disminuir en la mayoría de los escenarios analizados, aunque se observan diferencias significativas de velocidad de reducción con el tiempo. Es interesante observar que el escenario 3 se destaca como uno que muestra la reducción más baja en la potencia disponible; De hecho, este escenario incluso muestra una estabilidad significativa o en algunos casos un aumento en las pequeñas capacidades de gestión de residuos. Esto sugiere que el tercer escenario está implementando una gestión de residuos mucho más eficiente que podría atribuirse a la adopción de estrategias que contribuyen al uso de la generación de residuos, el reciclaje y las tecnologías innovadoras para la recolección de residuos. Toda esta práctica contribuye significativamente a la expansión del vertedero en este contexto. Por lo tanto, al evaluar todas las opciones, se puede concluir que el escenario de 3 se muestra como el más favorable, ya que garantiza la capacidad del relleno sanitario más amplia y sostenible a largo plazo, asegurando así un manejo más responsable y eficiente de los desechos en el futuro.

**Figura 13.**

*Comportamiento de indicadores de Residuos Aprovechables en diferentes escenarios.*



**Elaborado:** (Autores, 2025).

La **Figura 13.** proporciona una visión detallada del desarrollo esperado de residuos hasta 2050. En particular, el escenario 3 se caracteriza por un aumento notable y significativo en la evaluación de estos desechos, que se atribuye a la implementación de prácticas eficientes y efectivas en términos de procesamiento y procesamiento. Este enfoque, a su vez, contribuye a una reducción significativa de los desechos, que termina con el vertedero, que es un progreso significativo. Por el contrario, otros escenarios analizados parecen causar una situación de estabilidad o incluso una reducción en el uso de residuos, indicando que no se realizan mejoras significativas en estos casos. Es importante tener en cuenta que el escenario actual se refleja bastante bajo y la falta de uso, lo cual es alarmante, y sugiere que la estrategia en línea para promover el procesamiento y el procesamiento es claramente ineficaz y requiere una visión general exhaustiva. Por otro lado, el escenario de 3 aparece como un modelo a seguir, lo que crea una mejora significativa y significativa en la producción de residuos. Esto sugiere que la introducción de estrategias más eficientes y eficientes puede reducir ambos la cantidad total de desechos generados como su impacto negativo en el medio ambiente. De esta forma, el escenario 3 se posiciona como un camino viable hacia un futuro más sostenible y responsable en la gestión de residuos.

**Figura 14.**

*Comportamiento de Indicador de Residuos Dispuestos en diferentes escenarios.*



**Elaborado:** (Autores, 2025).

La **Figura 13.** presentada que mide la cantidad de desechos dispuestos en varios escenarios hasta 2050. Al analizar los escenarios, podemos observar que tanto el escenario actual como el escenario de 1, 2 y 4 muestran valores altos que permanecen relativamente estables con el tiempo. Esto indica que la cantidad de residuos destinados a la eliminación final sigue siendo significativa, lo que nos hace cuestionar la efectividad de las medidas de gestión de residuos en estos contextos. En contraste, el escenario se destaca cuando muestra una tendencia permanentemente caída en la creación de residuos, lo que significa una cantidad significativa de desechos enviados a la disposición final.

Cuando comparamos exhaustivamente todos los escenarios, podemos concluir que el tercer escenario parece ser el mejor entre ellos. Esto se debe al hecho de que la cantidad de desechos enviados para la destrucción final puede reducirse gradual y continuamente. Este descubrimiento sugiere que la introducción de estrategias más eficientes tiene como objetivo reducir, reciclar y reciclar materiales relacionados con el tercer escenario. Esta práctica no solo contribuye a reducir los desechos, sino que también promueve un modelo de gestión a largo plazo más sostenible y eficiente en el **área**. Por lo tanto, el tercer escenario está diseñado como la opción más ventajosa y ecológica que se destaca en busca de soluciones que beneficien tanto al medio ambiente como al público en general.

### 13. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Cuando se trata del indicador de desechos utilizado, el escenario muestra el mejor rendimiento con un aumento significativo en el rodamiento de residuos, enfatizando la eficiencia de las

estrategias que se centran en la reducción de la fuente y promoviendo el procesamiento. Este escenario logra un uso constante del 42 %, mientras que el primer escenario mantiene el 37 %, y el escenario alcanza solo el 19 %, solo 3 puntos porcentuales en el escenario actual.

En comparación con el indicador de desechos diseñado, el alto valor indica que se realiza una mayor cantidad de desechos generados para la destrucción final. Si el objetivo es maximizar el uso y reducir la cantidad enviada al vertedero, es importante reducir este indicador. En el escenario actual, el valor de los desechos correctamente organizados es del 81.37 %, mientras que el paso 2 se ha reducido a 78.05 %, 1. El escenario al 61.29 % y el escenario a 55.94 %.

El análisis final de la destrucción de residuos en varios escenarios para 2050, prueba de que el escenario de 3 es más efectivo en términos de control, ya que conserva el valor final del valor más bajo, lo que nos hace pensar en el uso de una mejor valorización de residuos y desechos. Tecnologías que hacen un mejor uso de la tecnología de valorización y los desechos y el enfoque integrado para la gestión de residuos. En contraste, el escenario muestra el peor rendimiento con un aumento significativo en los desechos, que se envía a la destrucción final, lo que refleja fallas en la infraestructura y la política pública.

Comenzando con el acceso al vertedero, la simulación de varios escenarios indica que el escenario no solo reduce la cantidad de desechos enviados a la destrucción final, sino que también permite extender el tiempo de uso del relleno. En algunos casos, incluso se observa una estabilidad o un leve incremento en la capacidad de manejo de residuos, lo que refuerza la efectividad de este escenario.

De acuerdo con todo lo anterior, el escenario 2, que plantea un aumento moderado en el aprovechamiento total, es el que genera menos mejoras, ya que las tendencias muestran un comportamiento similar al escenario actual. Por otro lado, el escenario 1, enfocado en la separación en la fuente, logra una mejora del 21 % en el indicador de residuos aprovechados y del 20,08 % en el indicador de residuos dispuestos adecuadamente. Finalmente, el escenario 3, que combina la separación en la fuente y estrategias de reciclaje, se perfila como el más favorable, con un incremento del 26 % en el aprovechamiento y una reducción del 25,43 % en la disposición final.

Según, (Sáez et al., 2014), concluyen que en América Latina y el Caribe, la gestión de residuos se centra principalmente en la recolección y disposición final, sin dar suficiente atención a otras variables del sistema. Del mismo modo, (Rodríguez Andrade e Ibarra Vega, 2019) señala que

la única alternativa al departamento de Cundinamarca ha sido una regla de vertedero sanitario, dejando las principales estrategias de optimización del sistema. En este contexto, la ciudad de Bogotá enfrenta los mismos desafíos que enfatizan la necesidad de una visión más integral de la gestión de residuos.

Las propuestas presentadas se fundamentan en una exhaustiva revisión bibliográfica y en el análisis de datos observacionales obtenidos en diversas situaciones. Por lo tanto, es altamente recomendable que la institución EPAGAL implemente programas de capacitación en lugares con alta afluencia de personas, tales como mercados, escuelas, hospitales y otros espacios públicos. Además, es crucial extender estas capacitaciones a los hogares, ya que esto podría contribuir significativamente a la disminución de la tasa de incremento de producción per cápita de desechos en el futuro. Con base en la información recopilada, es esencial establecer puntos estratégicos para la colocación de contenedores e islas ecológicas. Actualmente, se ha observado que algunas de estas instalaciones están mal ubicadas, especialmente en áreas donde se genera una mayor cantidad de desechos (**ver Anexo 5**). Al optimizar la ubicación de estos recursos, no solo se facilitará su uso por parte de la comunidad, sino que también se promoverá una cultura de reciclaje y manejo responsable de residuos.

La optimización de rutas, mediante el uso de tecnologías de geolocalización y software especializado, se presenta como una solución viable para mejorar la cobertura y la eficiencia operativa. Asimismo, la ubicación estratégica de los contenedores es crucial para la eficiencia del sistema. Una ubicación inadecuada, ya sea por baja densidad poblacional, difícil acceso o proximidad a zonas residenciales, genera inconvenientes tanto para los ciudadanos como para los recolectores. Un estudio exhaustivo de la generación de residuos, la participación comunitaria en la toma de decisiones y la garantía de accesibilidad y seguridad en la ubicación de los contenedores son pasos necesarios para abordar este problema.

## **14. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **14.1 Impacto Ambiental**

La reducción de la contaminación se logra a través de una gestión eficiente de residuos, lo que implica una reducción de los desechos en los vertederos sanitarios, así como la promoción del procesamiento y el compostaje activos, que promueve la participación pública en esta práctica sostenible. Además, mejorar el proceso de recolección y limpieza de desechos reduce la huella de carbono y promueve un entorno más limpio, proporciona la eliminación responsable de los

materiales eliminados y reduce el impacto ambiental. La preservación de los recursos naturales es esencial y mejora a través de la evaluación y el reciclaje de materiales reciclables. La promoción de la economía circular se evita con los desechos y garantizar un uso más sostenible de los recursos del planeta, lo que garantiza un entorno saludable para las generaciones futuras.

### **14.2 Impacto Social**

La mejora en la calidad de vida se logra al reducir los problemas de salud asociados con la gestión de residuos inapropiados. La gestión adecuada de los residuos no solo crea un ambiente más limpio y saludable, sino que también reduce la propagación de enfermedades en la sociedad. Es importante incluir el reciclaje en el sistema formal de gestión de residuos, ya que les da estabilidad financiera y mejora sus condiciones de trabajo. La formalización de su trabajo reconoce su valor, les permite acceder a los beneficios del mercado social y laboral e influir positivamente en sus familias y familias. Además, la comprensión ambiental ha aumentado significativamente gracias a las campañas educativas y los programas de reciclaje que informan y se sintieron acerca de la población. Estas iniciativas son la clave para promover la cultura del medio ambiente y la atención que alienta a los ciudadanos a participar en la gestión de residuos y la cooperación en la creación de comunidades más sostenibles.

### **14.3 Impacto Económico**

La reducción de los costos para la gestión de residuos se puede lograr a través de estrategias que se centran en el reciclaje y la evaluación de materiales. No solo reducen los gastos operativos, sino que también promueven la gestión de recursos sostenibles. La integración de las prácticas de procesamiento en la sociedad tiene un impacto positivo en la reducción de residuos. Además, el empleo debe crearse en el reciclaje de residuos y purificación, que es la clave para el desarrollo económico y social. La industria ofrece posiciones directas en la recolección y clasificación de materiales reciclables y promueve la capacitación de gestión de residuos y promueve la transición a prácticas responsables que les permiten participar activamente en la economía circular. También es importante optimizar el uso de recursos financieros para la recolección de residuos y finalmente. Esto incluye mejorar los procesos actuales para garantizar el uso efectivo de fondos. Por lo tanto, los municipios y las empresas pueden garantizar que cada contribución contribuya a un sistema de gestión de residuos más eficiente y sostenible, que crea beneficios económicos y ambientales para el público.

## 15. CONCLUSIONES

- Se identificaron varias desventajas en la recolección de residuos, incluidos los servicios y sin planificar las rutas de la colección. Utilizando observaciones directas y análisis de datos, era evidencia que la ineficiencia en la recolección contribuye a la acumulación de residuos en áreas críticas que afectan tanto la salud pública como el medio ambiente. Se concluye que la optimización de los procesos de recolección a través de una mejor planificación estratégica y distribución de recursos es la clave para mejorar la gestión de residuos.
- El modelo desarrollado por Vensim se permitió visualizar el desarrollo del sistema de gestión de residuos en varios escenarios. Usando simulaciones, el mayor impacto fueron los factores que afectan la acumulación de residuos y analizaron la interacción entre los diferentes miembros del sistema. Se concluye que el uso de herramientas de modelado dinámico es importante para predecir las tendencias y evaluar el impacto de varias estrategias de gestión.
- Los resultados de la simulación mostraron que el escenario que contiene estrategias avanzadas de procesamiento y procesamiento residual es más eficiente para reducir la cantidad de desechos enviados a la destrucción final. Sin embargo, se identificaron obstáculos, como la falta de educación ambiental e integración amigable limitada en este proceso. Se concluye que para lograr un sistema de gestión efectivo y sostenible, es importante fortalecer la participación de los ciudadanos y desarrollar una política que promueva la separación y el uso de residuos.

## 16. RECOMENDACIONES

- Se observó que la falta de planificación apropiada en la recopilación de programas de educación ambiental y inadecuado afecta directamente la eficiencia del sistema. Esto enfatiza la necesidad de fortalecer las estrategias de recolección diferenciadas y optimizar los recursos para mejorar la sostenibilidad del sistema.
- El modelado dinámico nos permitió comprender la interacción entre los participantes en el sistema de gestión de residuos y cómo afectan la cantidad de desechos generados y organizados. El modelo ha demostrado que la introducción de estrategias de reducción y procesamiento tiene un efecto positivo en la eficiencia del sistema. También permitió visualizar los largos efectos de varias políticas, lo que mostró que, sin cambios estructurales, la cantidad de desechos enviados a la eliminación final continuará aumentando.

- La comparación del escenario reveló que el escenario del 3er, que incluye estrategias avanzadas de reciclaje y evaluación residual, es más efectivo en términos de reducción de residuos enviados a la destrucción final. Sin embargo, su implementación enfrenta problemas como la baja participación pública y la baja formalización de la norma. Esto enfatiza la importancia de la política que contribuye a la separación de la fuente y la integración de la recuperación en la gestión de residuos, elementos clave para lograr un sistema más sostenible y eficiente.

## 17. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo No. 61 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. (2015). *ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>
- Altadill Colominas, R., Andrés Payán, A. M., Bruno, A., Bruno, J., Canales Rojas, A. M., Cortés Lucas, A., Díez Bernabé, G., Elías Castells, X., Feliubadaló Molins, J., Flotats Ripoll, X., Fullana i Palmer, P., García Martínez, J., Herrero Municio, M., Jurado de Gracia, L., López Martínez, M., Magrí Aloy, A., Mañá Reixach, F., Menendes Arias, J. B., Molina Beltrán, J., ... Soliva Torrentó, M. (2009). *Reciclaje de residuos industriales : Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora* (X. Elías Castells, Ed.; Segunda). Díaz de Santos. <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479788353.pdf>
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica* (6th ed.). EDITORIAL EPISTEME, C.A. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Barrera, J., & Guerrero, F. (n.d.). *Escenarios de Equilibrio Dinámico para la Evolución de las Tasa de Interés en el Ecuador*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25318/6/Cicyt%20-%20Escenarios%20de%20Equilibrio%20Dinamico%20-%20Final.pdf>

- Carrera-Villacrés, D., Aguilar, P., Alegria, T., & Andaluz, J. (2024). Modelación dinámica de sistemas con el software Vensim aplicado al tanque de distribución de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20698.76486>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Issue 20). [https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-laRepublica-del-Ecuador\\_act\\_ene-2021.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-laRepublica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf)
- Cuásquer-Viveros, M., & Moreno-Cortés, A. L. (2021). Estudio sobre los diagramas de flujo en la resolución de problemas matemáticos. *Revista UNIMAR*, 39(1), 45–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.31948/Rev.unimar>
- De Leo, E., Aranda, D., & Addati, G. A. (2020). Introducción a la dinámica de sistemas. *ECONSTOR*. <https://hdl.handle.net/10419/238364>
- Díaz-Martínez, J. L., Guerra-Aleman, E., Neira-Molina, H., Garcia-Restrepo, J., Londoño-Lara, L. A., & Valle-Ospino, A. (2019, November 4). Análisis de la dinámica de sistemas en el software Vensim. *ESPACIOS*, 40, 19. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n38/a19v40n38p19.pdf>
- Ding, Z., Yi, G., Tam, V. W., & Huang, T. (2016). A system dynamicsbased environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. *Waste Management*, 51, 130–141. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X16300873?via%3DiHub>
- EPAGAL. (2024). *EMPRESA PÚBLICA DE ASEO Y GESTIÓN AMBIENTAL DEL CANTÓN LATACUNGA Latacunga-Cotopaxi-Ecuador*.
- Gallegos Garzón, M. A., & Latorre, S. (2021). ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA UNA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS: El Caso de la Ciudad de Latacunga, Ecuador. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 34(1), 128–154.

- Hénault-Ethier, L., Martín, J.-P., & Housset, J. (2017). A dynamic model for organic waste management in Quebec (D-MOWIQ) as a tool to review environmental, societal and economic perspectives of a waste management policy. *Waste Management*, 66(1), 196–209.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (6th ed.). MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.  
[https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)
- Ibarra-Vega, D. W., & Manuel-Redondo, J. (2015). DINÁMICA DE SISTEMAS, UNA HERRAMIENTA PARA LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN INGENIERÍA. *Luna Azul*, 41, 152–164. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.41.9>
- INCINEROX. (2025). *GESTIÓN DE RESIDUOS Y DESECHOS PELIGROSOS EN ECUADOR*. INCINEROX. <https://incinerox.com.ec/>
- INEC. (2022). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*.
- Izquierdo, L. R., Galán, J. M., Santos, J. I., & Del Olmo, R. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *EMPIRIA. Revista de Metodología de Las Ciencias Sociales*, 16, 85–112. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=297124024004>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. In *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Moisés Martínez, S., Rodríguez Monroy, C., Araujo Gil, M., & Díaz Morris, A. (2013). System dynamics in the simulation of the effect of knowledge management on the supply chain of corn agroindustry (*Zea mays* L.). *Revista Técnica de Ingeniería de La Universidad Del Zulia*, 36(1), 80–90. <https://ve.scielo.org/pdf/rtrfiuz/v36n1/art11.pdf>
- Moreno, C., & Thomson, P. (2010). Incertidumbre paramétrica en modelos dinámicos de estructuras civiles. *Ingeniería y Competitividad*, 12, 111–125. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323517007>

- Municipio de Latacunga. (2005). *ORDENANZA 60*.  
[https://latacunga.gob.ec/images/pdf/Ordenanzas/1\\_60\\_%20ordenanza\\_controla\\_manejo\\_desechos\\_solidos\\_establecimientos\\_salud.pdf](https://latacunga.gob.ec/images/pdf/Ordenanzas/1_60_%20ordenanza_controla_manejo_desechos_solidos_establecimientos_salud.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Informe mundial sobre la contaminación ambiental*.  
[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-andhealth](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-andhealth)
- Parra, E., Gordillo, W., & Pinzón, W. J. (2019). Modelos de Crecimiento Poblacional: Enseñanza-Aprendizaje desde las Ecuaciones Recursivas. *Formacion Universitaria*, 12(1), 25–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062019000100025>
- Pastillo-Ortiz, J. A., & Guamán-Guevara, A. R. (2024). *ESTUDIO DEL PATRIMONIO CULTURAL TANGIBLE DEL CENTRO HISTÓRICO DE LATACUNGA [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI]*.  
<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d6509f89-9389-4d4c-ad76a6fc16809023/content>
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. (2019). *REGLAMENTO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*.  
<https://site.inpc.gob.ec/pdfs/lotaip2020/REGLAMENTO%20AL%20CODIGO%20ORGANICO%20DEL%20AMBIENTE.pdf>
- Rodríguez, A., & Pérez, M. (2018). Introducción a la teoría de sistemas. *Editorial Universitaria*.
- Rodríguez Andrade, J., & Ibarra Vega, D. (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. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 143–162. <https://doi.org/10.22490/21456453.2411>
- Sáez, A., Urdaneta, G., & Joheni, A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121–135. <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>
- Salazar Rodríguez, A., & Hernández Diego, C. (2018). Evaluación de la eficiencia del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en el municipio de Benito Juárez, Quintana Roo. *Quivera*, 73–102. <https://quivera.uaemex.mx/article/view/11083/9526>

- Sánchez-Niubò, A., G. Forero, C., & Benavides, F. (2016). The application of causal diagrams to conceptualize mechanisms in occupational epidemiology. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 19(2), 103–106. <https://doi.org/10.12961/aprl.2016.19.02.4>
- Sufian, M., & Bala, B. (2007). Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. *Waste Management*, 27(7), 858–868. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X06001395>
- Torres Fernández, P. A. (2016). Acerca de los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación educativa cubana actual. *Atenas*, 2, 34. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Torres-Degró, A. (2011). Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial. *CIDE Digital*, 2(1), 142–160. [https://rcm1.rcm.upr.edu/demografia/wp-content/uploads/sites/30/2020/04/CIDEvo2no1A\\_Torres-Degro-Tasa\\_crecimiento\\_poblacional.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://rcm1.rcm.upr.edu/demografia/wp-content/uploads/sites/30/2020/04/CIDEvo2no1A_Torres-Degro-Tasa_crecimiento_poblacional.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- Ullca, J. (2006). LOS RELLENOS SANITARIOS. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de La Vida*, 4, 2–17. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047388001>
- Vaca Rueda, G. M. (2020). *Análisis de la gestión integral de residuos sólidos en el cantón Latacunga, principales actores, 2014-2018*. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/16571/2/TFLACSO2020GMVR.pdf>
- Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2). <https://doi.org/10.22579/20112629.575>
- Vilchis-Mata, I., Garrocho-Rangel, C., & Díaz-Delgado, C. (2018). Modelo dinámico adaptativo para la toma de decisiones sostenibles en el ciclo hidrosocial urbano en México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 71, 59–90. <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n71/0718-3402-rgeong-71-00059.pdf>