

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Optimización de la gestión técnica del relleno sanitario del cantón Pasaje mediante asistentes virtuales en un entorno Volátil, Incierto, Complejo y Ambiguo.

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Magister de Ingeniería Civil con mención en Construcción y Saneamiento

Presentado por:

María Anthonella León Abad

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a las personas que laboramos en la gestión integral de residuos sólidos. Cada rol es esencial para contribuir con una sociedad consciente y responsable del impacto multilateral que genera su elección de consumo en los diversos mercados.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a mi familia, amigos, compañeros y docentes por abrir los espacios propicios para el desarrollo de este proyecto, que el Gran Espíritu les multiplique las oportunidades que ustedes han abierto para mí.

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo María Anthonella León Abad acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, marzo del 2025.

María Anthonella León Abad

EVALUADORES

M.Sc. Fernanda Mejía Peralta

Profesor de Materia

M.Sc. Nelson Sánchez Ortega

Tutor de proyecto

RESUMEN

El presente proyecto busca optimizar la gestión técnica del relleno sanitario del cantón Pasaje mediante el uso de un asistente virtual, en un entorno Volátil, Incierto, Complejo y Ambiguo (VICA), con el objetivo de mejorar la planificación operativa y la toma de decisiones estratégicas. Para ello, se recopilaron y analizaron datos históricos del período 2019-2024, implementando inteligencia artificial para normalizar y estructurar la información. Se desarrolló un modelo predictivo en Python en Google Colab, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.77, lo que permitió proyectar la generación de residuos hasta 2034 y proporcionar una base cuantitativa para la planificación de la capacidad de disposición final. Además, se diseñó un tablero dinámico en Power BI como prototipo de gestión de datos, el cual facilita la generación de reportes técnicos ágiles y la visualización en tiempo real de los indicadores operativos del relleno sanitario. Los resultados evidencian que la integración de un asistente virtual con modelos predictivos y herramientas interactivas mejora significativamente la eficiencia en la gestión de residuos sólidos. Se concluye que el uso de inteligencia artificial y análisis de datos automatizados permite optimizar la planificación estratégica, anticipar escenarios críticos y mejorar la sostenibilidad del sistema de disposición final. Se recomienda continuar explorando técnicas avanzadas de modelado predictivo y fortalecer la infraestructura tecnológica para garantizar la eficiencia operativa del relleno sanitario del cantón Pasaje.

Palabras Clave: Gestión de desechos, asistentes virtuales, VICA, modelos predictivos, Power BI.

ABSTRACT

The present project aims to optimize the technical management of the Pasaje landfill through the use of a virtual assistant in a Volatile, Uncertain, Complex, and Ambiguous (VUCA) environment, with the objective of improving operational planning and strategic decision-making. To achieve this, historical data from the 2019-2024 period were collected and analyzed, implementing artificial intelligence to normalize and structure the information. A predictive model in Python in Google Colab was developed, achieving a coefficient of determination (R^2) of 0.77, which allowed for the projection of waste generation until 2034, providing a quantitative basis for planning final disposal capacity. Additionally, a dynamic dashboard in Power BI was designed as a data management prototype, facilitating the generation of agile technical reports and real-time visualization of the landfill's operational indicators. The results show that the integration of a virtual assistant with predictive models and interactive tools significantly improves efficiency in solid waste management. It is concluded that the use of artificial intelligence and automated data analysis optimizes strategic planning, allows for the anticipation of critical scenarios, and enhances the sustainability of the final disposal system. It is recommended to continue exploring advanced predictive modeling techniques and strengthen technological infrastructure to ensure the operational efficiency of the Pasaje landfill.

Keywords: Waste management, virtual assistants, VUCA, predictive models, Power BI.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
ÍNDICE GENERAL.....	3
ABREVIATURAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE ANEXOS.....	8
CAPÍTULO 1.....	10
1. Introducción	2
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Localización	5
1.3 Definición del problema	6
1.4 Justificación	7
1.5 Objetivos	8
1.5.1 Objetivo General.....	8
1.5.2 Objetivos Específicos.....	8
CAPÍTULO 2.....	10
2. Desarrollo del proyecto.....	11
2.1 Marco conceptual.....	11
2.1.1 Gestión integral de residuos sólidos	11
2.1.2 Entorno VICA en la gestión de residuos.....	13
2.1.3 Inteligencia artificial aplicada a la gestión técnica operativa	14
2.2 Marco metodológico	19
2.2.1 Análisis entorno VICA.....	19

2.2.2	Datos de entrada	25
2.2.3	Trabajo de gabinete	26
2.2.4	Solución a diseñar	30
CAPÍTULO 3.....		31
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
3.1	Resultados.....	32
3.1.1	Entomo VICA	32
3.1.2	Datos de entrada	38
3.1.3	Normalización y limpieza de datos	38
3.1.4	Desarrollo de modelo predictivo.....	39
3.2	Análisis de resultados	40
3.2.1	Entomo VICA	40
3.2.2	Modelo predictivo.....	43
3.2.3	Diseño de la solución	44
CAPÍTULO 4.....		56
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	57
4.1	Conclusiones.....	57
4.2	Recomendaciones.....	58
ANEXOS		65

ABREVIATURAS

VICA	Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad y Ambigüedad
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IA	Inteligencia Artificial
AV	Asistente Virtual

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Relleno Sanitario del cantón Pasaje	6
Figura 2.1 Procedimiento para la optimización de gestión técnica con AV	19
Figura 2.2 Datos de entrada	25
Figura 2.3 Trabajo en gabinete	26
Figura 3.1 Análisis de Producción Per Cápita y capacidad operativa	45
Figura 3.2 Filtros de fecha, fuente y ruta	46
Figura 3.3 Distribución de residuos por fuente	47
Figura 3.4 Distribución de residuos por ruta	48
Figura 3.5 Tendencia histórica anual	49
Figura 3.6 Distribución de residuos por ruta y fuente de generación	50
Figura 3.7 Filtros de año y tipo de residuo	51
Figura 3.8 Gráfica de proyección anual de residuos	52
Figura 3.9 Caracterización de residuos por tipo	53
Figura 3.10 Proyección de volumen por habitante	53
Figura 3.11 Integración con datos nacionales y economía circular	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Diagnósticos MAATE	20
Tabla 2.2 Escala Likert	21
Tabla 2.3 Diseño de prompts	22
Tabla 2.4 Prompt aplicado para la normalización y limpieza de datos.....	26
Tabla 2.5 Prompts modelo predictivo.....	29
Tabla 3.1. Salida variable independiente (Volatilidad)	32
Tabla 3.2 Salida variable independiente (Incertidumbre)	34
Tabla 3.3 Salida variable independiente (Complejidad).....	35
Tabla 3.4. Salida variable independiente (Ambigüedad)	36
Tabla 3.5 Extracto de datos de entrada previamente a la normalización	38
Tabla 3.6 Extracto de datos descargados de AV post aplicación de prompt	39
Tabla 3.7 Salida modelo predictivo Python en Google Colab.....	40
Tabla 3.8 Entorno VICA en relleno sanitario del cantón Pasaje.....	41
Tabla 3.9 Métricas del modelo en datos de entrenamiento.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 4.1 Ingreso de prompt para analizar variable independiente (Volatilidad)	65
Anexo 4.2 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Volatilidad).....	65
Anexo 4.3 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Volatilidad).....	66
Anexo 4.4 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Volatilidad).....	66
Anexo 4.5 Ingreso de prompt para analizar variable independiente (Incertidumbre)	67
Anexo 4.6 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Incertidumbre).....	67
Anexo 4.7 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Incertidumbre).....	68
Anexo 4.8 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Incertidumbre).....	68
Anexo 4.9 Ingreso de prompt para analizar variable independiente (Complejidad).....	69
Anexo 4.10 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Complejidad).....	69
Anexo 4.11 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Complejidad).....	70
Anexo 4.12 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Complejidad).....	70
Anexo 4.13 Ingreso de prompt para analizar variable independiente (Ambigüedad)	71
Anexo 4.14 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Ambigüedad).....	71
Anexo 4.15 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Ambigüedad).....	72
Anexo 4.16 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Ambigüedad).....	73
Anexo 4.17 Evidencia datos de entrada previo normalización (aplicación filtro ruta)	73
Anexo 4.18 Ingreso prompt aplicado para la normalización y limpieza de datos	74
Anexo 4.19 Salida del AV producto del prompt aplicado para la normalización y limpieza de datos.....	74

Anexo 4.20 Salida del AV producto del prompt aplicado para la normalización y limpieza de datos.....	75
Anexo 4.21 Datos descargados de AV post aplicación de prompt	75
Anexo 4.22 Evidencia datos de salida de prompt (aplicación filtro ruta normalizado)....	76
Anexo 4.23 Ingreso prompt aplicado en asistente virtual generación código Python.....	76
Anexo 4.24 Modelo regresión lineal Python-Google Colab.....	77
Anexo 4.25 Modelo regresión lineal Python-Google Colab.....	77
Anexo 4.26 Modelo regresión lineal Python-Google Colab.....	78
Anexo 4.27 Modelo regresión lineal Python-Google Colab.....	78
Anexo 4.28 Modelo regresión lineal Python-Google Colab.....	79
Anexo 4.29 Prototipo tablero dinámico del historial de desechos sólidos no peligrosos	79
Anexo 4.30 Prototipo tablero dinámico de proyecciones de generación de desechos sólidos	80

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En el entorno actual, caracterizado por volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad (VICA, por sus siglas en español), las organizaciones enfrentan desafíos crecientes en la toma de decisiones estratégicas. Este concepto describe contextos donde los cambios son rápidos e impredecibles, las variables son interdependientes y abundantes, y la falta de claridad prevalece en los procesos. En sectores como la gestión ambiental y de residuos sólidos, estas condiciones generan incertidumbre operativa, dificultan la planificación eficiente y aumentan los riesgos asociados a una toma de decisiones deficiente. En este contexto, la gestión adecuada de datos se ha vuelto indispensable, permitiendo estructurar información, realizar análisis predictivos y fundamentar decisiones estratégicas basadas en evidencia (Esenyel, 2024).

Desde su inicio en 2010, el relleno sanitario del cantón Pasaje ha logrado importantes avances en la disposición de desechos sólidos no peligrosos (Municipio de Pasaje, 2019). Sin embargo, el crecimiento poblacional y las complejidades administrativas y operativas han evidenciado la necesidad de optimizar su planificación técnica para mejorar la eficiencia y garantizar la sostenibilidad del sistema. Problemas como el manejo tardío de datos sobre volúmenes de residuos limitan su capacidad para cumplir objetivos a largo plazo. En este contexto, la incorporación de tecnologías avanzadas, como asistentes virtuales, ofrece una solución innovadora, al procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real, transformarlos en información útil y mejorar la respuesta ante desafíos operativos y estratégicos (Herrera-Uchalin et al., 2023).

En el caso específico de la gestión integral de residuos sólidos, los asistentes virtuales facilitan el análisis eficiente de las operaciones técnicas, identifican patrones críticos y generan soluciones optimizadas que incrementan la eficiencia del sistema y reducen costos operativos (Gutiérrez-Ramos et al., 2024). Además, la implementación de estas herramientas tecnológicas puede transformar el relleno sanitario del cantón Pasaje en un modelo de gestión replicable a nivel regional. Este enfoque no solo refuerza la modernización y la resiliencia operativa local, sino que también posiciona al cantón como un referente en la gestión ambiental en escenarios complejos. A través del uso estratégico de los datos y la inteligencia artificial, se mejora la capacidad de anticipar

problemas, planificar soluciones y enfrentar los desafíos de un mundo cada vez más incierto y volátil (Adeniran et al., 2017).

Por lo tanto, este proyecto tiene como objetivo desarrollar un modelo de optimización de la gestión técnica del relleno sanitario del cantón Pasaje mediante el uso de asistentes virtuales. Este enfoque permitirá resolver problemas relacionados con la recopilación, procesamiento y análisis de datos operativos, facilitando la toma de decisiones basadas en evidencia y asegurando la sostenibilidad del sistema frente a las condiciones del entorno VICA.

Para ello, se llevó a cabo un proceso de organización y depuración de datos operativos, optimizando su gestión mediante una aplicación programada diseñada para administrar información y automatizar tareas enfocadas en la generación de reportes técnicos. Asimismo, se desarrollaron análisis estadísticos que permitieron proyectar las capacidades de confinamiento de desechos sólidos considerando la infraestructura disponible y fortaleciendo la planificación estratégica del sistema.

1.1 Antecedentes

La gestión de residuos sólidos ha evolucionado considerablemente a través de la implementación de tecnologías avanzadas en la optimización de procesos operativos. La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta clave en este ámbito, mejorando la eficiencia en la clasificación de residuos y en la toma de decisiones (Burgos Cano, 2023).

En la última década, diversos estudios han demostrado el impacto significativo de las tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial y otras innovaciones, en la gestión de residuos sólidos, destacando mejoras en los procesos de planificación, monitoreo y optimización operativa, así como en la sostenibilidad de los sistemas de gestión:

La integración de Recycleye Vision, un sistema basado en IA para la clasificación inteligente de residuos ha demostrado ser una solución efectiva en plantas de reciclaje. Este sistema utiliza visión computacional para identificar y clasificar materiales

reciclables en más de 28 categorías. Gracias a esta tecnología, se ha logrado optimizar la eficiencia operativa, reducir costos y mejorar la calidad de los materiales reciclados, lo que contribuye a un modelo de economía circular y disminuye el impacto ambiental de los residuos (Recycleye, 2024).

En el ámbito educativo, las universidades han comenzado a adoptar herramientas basadas en inteligencia artificial para abordar los desafíos asociados a la gestión de residuos sólidos, integrando tecnología e innovación para fomentar prácticas sostenibles en sus comunidades. Por ejemplo, la Universidad Escuela de Administración de Negocios (EAN) implementó un sistema basado en IA para promover el reciclaje y mejorar la disposición de residuos dentro del campus. En este proyecto, ChatGPT actuó como asistente virtual, respondiendo preguntas sobre la correcta clasificación de residuos y educando a los estudiantes sobre las mejores prácticas de reciclaje. Esto sensibilizó a la comunidad universitaria y aumentó la participación en el proceso de reciclaje, mejorando las tasas de reutilización de materiales en el campus (Puentes Aguilar & Jiménez Olarte, 2023).

De manera similar, la Universidad de los Andes desarrolló un modelo integral para optimizar la gestión de residuos en su comunidad educativa, utilizando herramientas de IA para recopilar y analizar datos sobre los residuos generados entre 2018 y 2023. Un Prompts especializado en ChatGPT interactuaba con los estudiantes, ofreciéndoles recomendaciones personalizadas para la correcta disposición de residuos. Esta integración no solo mejoró la eficiencia operativa del sistema, sino que también sensibilizó a los usuarios sobre la importancia del reciclaje y su correcta ejecución (Burgos Cano, 2023).

Estas experiencias reflejan cómo la gestión de residuos sólidos es un componente esencial tanto en el desarrollo urbano como en la sostenibilidad ambiental (Pozo Cruz & Rengifo Garcia, 2023). En el caso del cantón Pasaje, el desafío de la gestión de residuos sólidos se ha abordado mediante la implementación de un relleno sanitario diseñado bajo estándares técnicos y ambientales sostenibles, contribuyendo a la optimización de la disposición final y reforzando el compromiso socioambiental.

La operación de un relleno sanitario se desarrolla en un entorno VICA, caracterizado por volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad, debido a la interacción de factores ambientales, sociales, técnicos y administrativos sensibles. En este contexto, la integración de tecnologías emergentes, como asistentes virtuales y herramientas analíticas, resulta esencial para optimizar la gestión (Sánchez Yáñez & Márquez Benavides, 2024).

Estas tecnologías permiten una planificación más ágil ante la incertidumbre, mejorando la eficiencia operativa mediante el desarrollo de procesos de gestión basados en asistentes virtuales. Estos sistemas facilitan la generación de reportes técnicos de alto valor, apoyando la toma de decisiones informadas. De esta manera, contribuyen a la optimización de los procesos operativos en un entorno desafiante como el manejo de residuos sólidos, donde la adaptabilidad y la eficiencia son esenciales para superar las complejidades del sistema (Sáez & Urdaneta, 2014).

1.2 Localización

El presente proyecto se fundamentó en la optimización de la gestión técnica del relleno sanitario del cantón Pasaje, ubicado en la provincia de El Oro, Ecuador. En la Figura 1.1, se identifica su localización mediante coordenadas geográficas, situándose en el hemisferio sur, cerca de la costa ecuatoriana. La región presentaba un clima tropical, con temperaturas promedio que oscilaban entre 24°C y 30°C, y se clasificaba como mega térmico semiárido (Municipio de Pasaje, 2019).

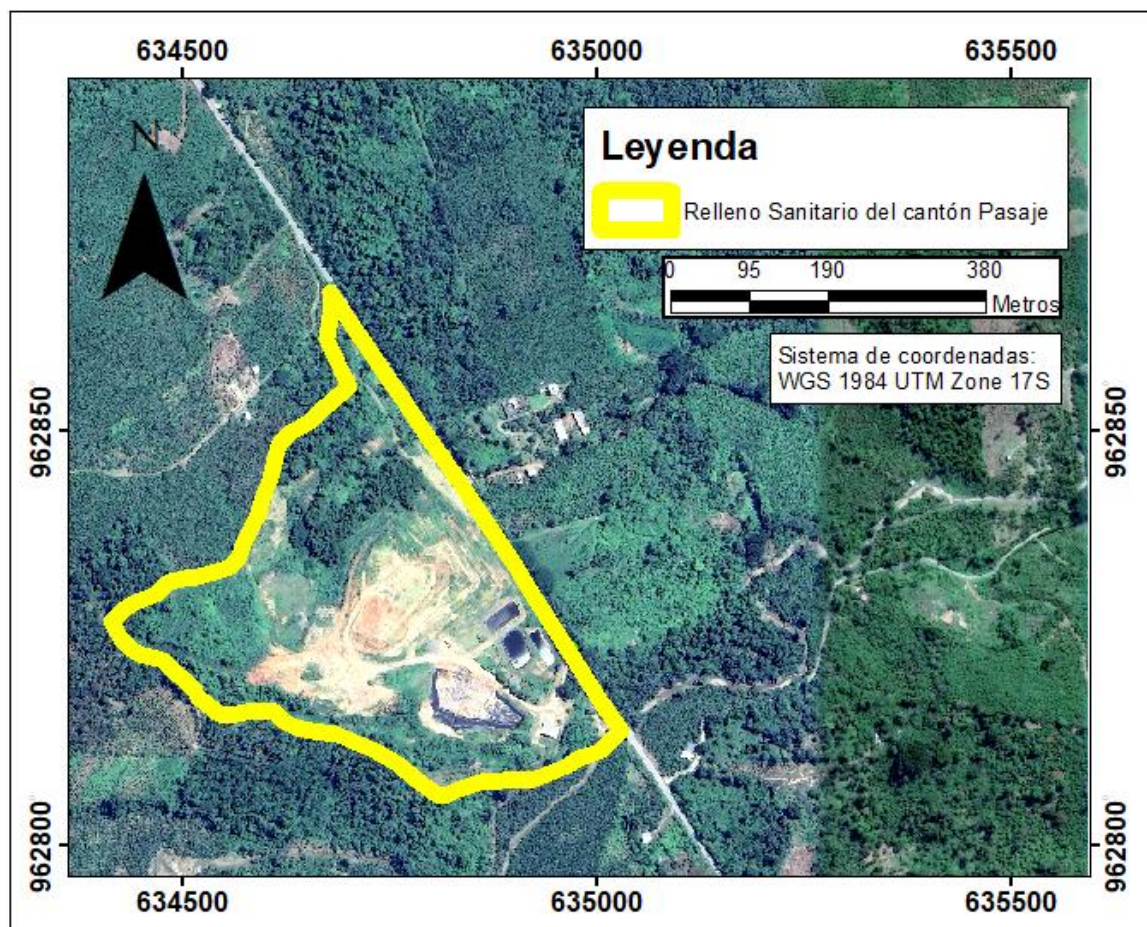


Figura 1.1 Relleno Sanitario del cantón Pasaje

1.3 Definición del problema

A pesar de los avances en la gestión de residuos sólidos en el cantón Pasaje, persisten desafíos en la eficiencia operativa en un entorno caracterizado por VICA. El relleno sanitario cuenta con infraestructura adecuada y un manejo técnico sostenible, pero la falta de herramientas específicas para procesar y analizar datos de manera eficaz limita la optimización de los procesos y la toma de decisiones ágiles en situaciones críticas (Esenyel, 2024).

El uso de asistentes virtuales y otras herramientas tecnológicas innovadoras ha demostrado ser una estrategia relevante en diversos campos para mejorar la organización, análisis y optimización de datos. Estas tecnologías ofrecen el potencial de fortalecer la gestión técnica en entornos complejos como la gestión de desechos sólidos,

donde es crucial transformar datos recopilados en insumos prácticos que permitan un mejor entendimiento de las operaciones y favorezcan decisiones estratégicas. En este contexto, integrar tales herramientas representa una oportunidad significativa para modernizar el enfoque actual en el cantón Pasaje, adaptándolo a los requerimientos de sostenibilidad y eficiencia (Burgos Cano, 2023).

Si bien la gestión técnica existente ha logrado mantener un nivel adecuado de operación, la incorporación de asistentes virtuales podría potenciar la capacidad del sistema para procesar información de manera eficiente, identificar patrones críticos y proponer soluciones optimizadas. Este enfoque no solo fortalecerá la resiliencia operativa, sino que también permitirá abordar las complejidades de un entorno VICA, garantizando así la sostenibilidad operativa a largo plazo.

1.4 Justificación

La importancia de este proyecto radica en la necesidad de optimizar los procesos técnicos del relleno sanitario del cantón Pasaje, fortaleciendo la planificación y eficiencia operativa. La implementación de asistentes virtuales permitirá organizar y analizar los datos disponibles de manera más efectiva, mejorando la gestión de recursos y la sostenibilidad del sistema. Esto no solo facilitará la resolución de problemas prácticos en ingeniería, como el diseño de soluciones técnicas y operativas, sino que también contribuirá a una gestión socioambiental más responsable de los desechos sólidos.

La incorporación de asistentes virtuales no solo mejora la eficiencia operativa del relleno sanitario del cantón Pasaje, sino que también establece un precedente para modernizar los sistemas de gestión en un entorno caracterizado por VICA en el Ecuador. Además, el proyecto está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura, promoviendo la adopción de soluciones tecnológicas avanzadas que mejoren la eficiencia de los sistemas de gestión, con un enfoque innovador que permita transformar los procesos de la fase de disposición final de desechos sólidos no peligrosos.

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, al mejorar la capacidad de replicar modelos de gestión eficiente, contribuyendo a la sostenibilidad de comunidades a través de la adopción de mejores prácticas en el manejo de residuos.

ODS 13: Acción por el clima, asegurando que una gestión de residuos más efectiva minimice los riesgos ambientales derivados de una toma de decisiones tardía, especialmente en la fase de disposición final, lo cual ayuda a mitigar los impactos del cambio climático mediante la optimización de procesos operativos.

Este proyecto propone resolver una problemática inmediata en el cantón Pasaje, y tiene el potencial de posicionarse como una referencia nacional para la implementación de tecnología innovadora en el manejo de residuos sólidos, contribuyendo a un Ecuador más sostenible y eficiente en la gestión ambiental.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Desarrollar un proceso de gestión basado en asistentes virtuales para la optimización de la planificación técnica en la gestión de residuos del relleno sanitario del cantón Pasaje.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar las variables que impactan al relleno sanitario en un entorno Volátil, Incierto, Complejo y Ambiguo para justificar la implementación de asistentes virtuales como estrategia para mejorar la gestión operativa del sistema.
- Analizar los datos del período 2019–2024 del servicio de disposición final de desechos sólidos en el relleno sanitario del cantón Pasaje, utilizando una aplicación dinámica para estructurar, procesar y optimizar la gestión de la información.

- Proponer un prototipo de gestión de datos basado en asistentes virtuales para la generación de reportes técnicos de alto valor en la toma de decisiones.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Gestión integral de residuos sólidos

La Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) comprende un conjunto de estrategias orientadas a la reducción, reutilización, reciclaje y valorización de los desechos, finalizando con una disposición técnicamente adecuada. Países desarrollados han reducido los volúmenes de residuos en rellenos sanitarios debido a la implementación exitosa de una economía circular, esta se enfoca en la reincorporación de los residuos, como recursos potenciales, dentro de las cadenas productivas (Rodríguez-Ríos, 2024).

En Ecuador, la relevancia de la GIRS se ve reflejada en la legislación ambiental, destacándose el Código Orgánico del Ambiente (COA) y la responsabilidad asignada a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) referente a la gestión de los residuos sólidos para dar cumplimiento a lo estipulado en el marco legal del país.

En la actualidad el ente rector Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) ha implementado el proyecto Gestión de Residuos Sólidos y Economía Inclusiva (GRECI), mediante el cual ya se dispone de insumos técnicos como el diagnóstico sectorial de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos en municipios del Ecuador. Lo cual ha generado data importante que cuantifica que aproximadamente 5 millones de toneladas de residuos sólidos se generan anualmente a nivel nacional. Indicando que existen altos riesgos en relación con contaminación de suelos, agua y aire debido a los patrones de consumo insostenibles de la población, traducido en una creciente generación de residuos, complicando los esfuerzos de gestión sostenible para las futuras generaciones (Ministerio del Ambiente, 2023a).

- ***Relleño sanitario***

Los rellenos sanitarios se clasifican con métodos de operación correspondientes a trinchera, área, terraplén y mixtos, seleccionados según las características del terreno y la cantidad de residuos. Los de trinchera son ideales para zonas con topografía irregular, mientras que los de área y terraplén se adaptan a terrenos planos y depresiones naturales, respectivamente. Estas tipologías buscan maximizar la eficiencia operativa y minimizar impactos ambientales al optimizar el uso del espacio disponible y las condiciones del terreno (Zabihollahi et al., 2024).

El diseño de rellenos incluye sistemas de impermeabilización para evitar contaminación, manejo de lixiviados y captación de biogás para reducir emisiones de metano. Durante la operación, se compactan y cubren los residuos diariamente para minimizar olores y lixiviados. El mantenimiento y operación aseguran la estabilidad estructural y la prevención de impactos a largo plazo. La actividad microbiana, influenciada por lixiviados y residuos biodegradables, juega un rol esencial en la degradación de materiales y debe gestionarse cuidadosamente (Matagi et al., 2024).

La eficiencia se evalúa mediante indicadores como la densidad de compactación, que optimiza la capacidad del relleno; la generación de lixiviados, que refleja el manejo del agua residual; y el potencial de captación de biogás, clave para la valorización energética. La composición microbiana de la masa confinada también actúa como indicador de degradación, permitiendo ajustar estrategias de gestión para mejorar la sostenibilidad del sistema (Zabihollahi et al., 2024).

2.1.2 Entorno VICA en la gestión de residuos

El entorno VICA presenta desafíos significativos que afectan la gestión técnica de los rellenos sanitarios, especialmente en países en desarrollo, donde las condiciones económicas, sociales y políticas tienden a generar un mayor grado de estas características. Según Barbier & Tengeh (2022), los gobiernos de países en desarrollo enfrentan entornos VICA con mayor frecuencia debido a la inestabilidad regulatoria, la limitada capacidad técnica y las infraestructuras deficientes, lo que agrava los desafíos en la prestación de servicios. Estas instituciones deben desarrollar estrategias de adaptación para enfrentar las complejidades de estos entornos y garantizar una prestación eficaz de los servicios.

La capacitación y el desarrollo de habilidades en áreas como la planificación estratégica y la gestión del cambio son fundamentales para que los funcionarios públicos respondan con eficacia a cambios rápidos e imprevisibles. Adoptar un enfoque proactivo en la toma de decisiones y la asignación de recursos puede mitigar los riesgos asociados con las condiciones VICA y fortalecer la resiliencia organizacional. Asimismo, fomentar una cultura de mejora continua y responsabilidad dentro de las administraciones públicas es vital para adaptarse a la naturaleza dinámica de estos entornos VICA (Barbier & Tengeh, 2022).

La volatilidad genera fluctuaciones rápidas en las condiciones operativas, como variaciones inesperadas en los flujos de residuos, lo que exige la adopción de decisiones técnicas basadas en un análisis riguroso de datos para mantener la eficiencia operativa. Por otro lado, la incertidumbre relacionada con las normativas y la inestabilidad en los altos cargos políticos y los principales actores de toma de decisiones complican la planificación a mediano y largo plazo. En este contexto, se destaca la necesidad de implementar sistemas predictivos y asistentes virtuales que permitan anticipar escenarios futuros y optimizar las estrategias de gestión (Quiches Pinto et al., 2025).

La complejidad, caracterizada por la interacción de múltiples variables operativas, pone de manifiesto la importancia de integrar herramientas avanzadas de análisis de datos para simplificar procesos, optimizar operaciones y mitigar riesgos. Asimismo, la ambigüedad, derivada de la interpretación imprecisa o inconsistente de información técnica y regulatoria, subraya el valor de los reportes dinámicos como medio para

proporcionar claridad y respaldar la toma de decisiones fundamentadas (Johannes & Tatiana, 2024).

2.1.3 Inteligencia artificial aplicada a la gestión técnica operativa

La inteligencia artificial (IA) es una herramienta transformadora en la gestión técnica operativa, facilitando la optimización de procesos, la automatización de tareas críticas y el análisis avanzado de datos. Al interpretar grandes volúmenes de información, la IA permite implementar soluciones adaptativas en entornos VICA. Estas capacidades aumentan la eficiencia operativa y reducen significativamente los errores en sistemas técnicos, como la gestión de residuos en rellenos sanitarios, al priorizar estrategias sostenibles y decisiones informadas (Pitakaso et al., 2024).

- **Asistentes Virtuales**

Los asistentes virtuales (AV) basados en inteligencia artificial (IA), como ChatGPT, Claude, Gemini, entre otros, han emergido como herramientas clave para optimizar procesos operativos y técnicos en sectores complejos. Estas soluciones automatizan tareas como la normalización de datos, la generación de informes y el análisis predictivo, facilitando la gestión de operaciones críticas. En el contexto de los rellenos sanitarios, su aplicación podría ser interesante para modelar estrategias sostenibles y aumentar la eficiencia técnica.

Según Chertow et al. (2024) los asistentes virtuales y otros sistemas basados en IA pueden desempeñar un papel crucial en la implementación de modelos de economía circular al aumentar la eficiencia operativa, reducir costos y minimizar errores humanos en tareas repetitivas. Estas herramientas son particularmente útiles en la planificación técnica, considerando los asistentes virtuales como un mecanismo de análisis para el procesamiento de grandes volúmenes de datos históricos y aportar insumos de valor para las tomas de decisiones.

El impacto de asistentes virtuales como ChatGPT también ha sido ampliamente reconocido en ámbitos académicos y empresariales. Freire Viteri (2023) destaca cómo estas herramientas están transformando el acceso y manejo de información técnica,

ofreciendo análisis automatizados y generando contenido de alta precisión en tiempo real. Su capacidad para procesar lenguaje natural y adaptarse a diferentes necesidades ha hecho que sean adoptadas para resolver problemas técnicos, generar reportes personalizados y realizar análisis predictivos estratégicos en múltiples industrias. Sin embargo, aunque los asistentes virtuales representan una mejora sustancial en términos de velocidad y precisión, su desempeño depende de la calidad y actualización de los datos procesados, así como de una supervisión adecuada por parte de los usuarios. Estas consideraciones refuerzan su papel como aliados estratégicos en la planificación técnica y la toma de decisiones operativas, pero también resaltan la importancia de utilizarlos con un enfoque crítico y complementario a la intervención humana.

- **Python**

Python es un lenguaje de programación esencial en la actualidad debido a su versatilidad, simplicidad y amplia adopción en diversas industrias. Su diseño intuitivo y su extenso ecosistema de bibliotecas especializadas lo convierten en una herramienta fundamental para abordar problemas complejos de análisis de datos. Además, la capacidad de los asistentes virtuales para interpretar y traducir instrucciones en lenguaje común a código Python democratiza el acceso a la programación, reduciendo barreras técnicas y potenciando la solución de problemas técnicos y educativos (Manolov & Rochat, 2024) .

Entre sus bibliotecas más destacadas se encuentran Pandas, para el manejo y análisis de datos estructurados; NumPy, para cálculos numéricos avanzados; y Scikit-learn, ampliamente utilizada en la construcción de modelos de aprendizaje automático. Estas herramientas permiten procesar y analizar grandes volúmenes de datos con eficiencia, un aspecto crucial en contextos donde la optimización de recursos y la toma de decisiones basada en evidencia son primordiales. Por ejemplo, Python ha sido utilizado para desarrollar sistemas predictivos que optimizan rutas logísticas, logrando hasta un 20% de reducción en costos operativos mediante el análisis de datos históricos y modelación matemática (Kleinová & Straka, 2024) .

Por lo tanto, Python es una plataforma ideal para integrarse con tecnologías avanzadas, como los asistentes virtuales, que amplifican las capacidades analíticas al automatizar tareas repetitivas, generar reportes técnicos y facilitar la extracción de conocimiento a

partir de datos complejos. Estas herramientas combinadas son capaces de transformar datos en información estratégica, mejorando significativamente la calidad y la velocidad de la toma de decisiones en entornos dinámicos y altamente inciertos, conocidos como entornos VICA.

- **Machine Learning**

Machine Learning, en español "aprendizaje automático", se refiere a un proceso en el que las máquinas utilizan datos y algoritmos para identificar patrones y tomar decisiones con mínima intervención humana. Esta disciplina se ha convertido en una herramienta esencial en el análisis avanzado de datos, destacándose por ofrecer soluciones innovadoras en diversos sectores. Estudios previos han demostrado su eficacia en campos como la gestión de residuos sólidos y la estimación de servicios ecosistémicos forestales.

En la gestión de residuos sólidos, modelos de aprendizaje automático como Random Forest han sido utilizados para analizar y proyectar la generación de desechos. Un ejemplo notable es su aplicación en el análisis de residuos provenientes de actividades de demolición, donde alcanzó coeficientes de determinación (R^2) de 0.987 para minerales reciclables y 0.972 para combustibles reciclables. Estas métricas destacan su precisión y capacidad para manejar datos diversos y altamente correlacionados. Gracias a estas predicciones, los gestores pueden anticiparse a desafíos operativos, optimizar recursos y diseñar estrategias sostenibles, fortaleciendo la transición hacia una economía circular (Cha et al., 2024).

En el ámbito forestal, las técnicas de aprendizaje automático, como las redes neuronales artificiales (RNA) y las máquinas de vectores de soporte (MVS), han demostrado ser herramientas efectivas para modelar la captura y almacenamiento de carbono en bosques tropicales. Estas herramientas se han utilizado para procesar datos dendrométricos complejos, logrando avances significativos en la comprensión del almacenamiento de carbono. En un estudio reciente, las RNA lograron un error relativo promedio de 6.94 %, superando a las MVS, que presentaron un 13.52 %. Esta superioridad se debe a la capacidad de las RNA para identificar relaciones no lineales y generalizar conocimientos a partir de datos diversos, permitiendo un monitoreo más preciso de servicios ecosistémicos clave, como el almacenamiento de carbono en la

biomasa arbórea. Estos hallazgos destacan el potencial del aprendizaje automático para promover la conservación y el manejo sostenible de los recursos ambientales (Dantas et al., 2021) .

- **Random Forest Regressor**

El uso del Random Forest Regressor (RFR) en el análisis de residuos sólidos se respalda por su robustez frente a la variabilidad y las inconsistencias inherentes en conjuntos de datos socioeconómicos y ambientales. Según el estudio de Dunkel et al. (2022) , este modelo destacó como el más preciso en la predicción de diferentes tipos de residuos sólidos para los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). En el análisis, el RFR alcanzó valores de R^2 cercanos a 1 y errores absolutos bajos medidos mediante el Mean Absolute Percentage Error (MAPE), que evalúa el error promedio porcentual respecto a los valores reales. Esto fue particularmente evidente para residuos municipales y domiciliarios. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos heterogéneos y modelar interacciones no lineales permite generar predicciones confiables incluso en escenarios con datos inconsistentes o valores extremos, adaptándose eficazmente a variables críticas.

Por otro lado, la aplicación del RFR en la gestión técnica de residuos sólidos, como en proyectos de demolición, resalta su valor estratégico en la planificación y toma de decisiones basadas en datos. Según Cha et al. (2024), este modelo no solo genera estimaciones precisas, sino que también proporciona métricas de importancia de las variables, identificando factores clave como la densidad poblacional y el nivel de urbanización. Estas capacidades permiten optimizar recursos, mitigar impactos ambientales y desarrollar políticas alineadas con los principios de sostenibilidad y economía circular. En contextos de alta incertidumbre y volatilidad, el RFR se convierte en una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia operativa y guiar estrategias de disposición final de residuos.

- **Power BI**

Power BI, como herramienta de inteligencia de negocios, permite transformar grandes volúmenes de datos en información comprensible y útil, optimizando procesos y mejorando la toma de decisiones estratégicas en diversos contextos. En un estudio realizado en San Martín de Porres, Lima, la implementación de esta herramienta mejoró la eficiencia del servicio de recolección de residuos sólidos en un 8.3%. Esto se logró mediante la digitalización y generación de indicadores en tiempo real, lo cual permitió reducir costos operativos y mejorar el desempeño general del servicio. Este enfoque, basado en un diseño cuasi-experimental, destacó la capacidad de Power BI para integrar datos complejos y generar resultados tangibles en tiempo real, lo que sustenta su inclusión en el presente proyecto para optimizar la gestión técnica del relleno sanitario del cantón Pasaje (Arcela Roca, 2018) .

De manera similar, en SUPERPOLO S.A.S., Power BI se empleó para gestionar los residuos sólidos generados, logrando un aprovechamiento del 67.5% de los materiales reciclables. La herramienta permitió la generación de informes detallados sobre la segregación y caracterización de residuos, optimizando la trazabilidad y facilitando la toma de decisiones informadas. Los datos recopilados y visualizados a través de Power BI no solo mejoraron la eficiencia operativa, sino que también reforzaron el compromiso ambiental de la empresa mediante prácticas sostenibles. Estas experiencias demuestran cómo Power BI puede centralizar y analizar grandes volúmenes de datos, alineándose con los objetivos del presente estudio (Pachon Ariza, 2024) .

2.2 Marco metodológico

La metodología utilizada para el desarrollo del presente proyecto se fundamentó en el modelo en cascada, como se evidencia en la Figura 2.1.

Este enfoque permitió estructurar y organizar de forma secuencial las etapas necesarias para alcanzar los objetivos planteados, garantizando una transición lógica y ordenada entre cada fase del proceso.

Dicha metodología es ampliamente reconocida en la gestión de proyectos y desarrollo de software por su claridad y facilidad de implementación en entornos donde los requerimientos iniciales son bien definidos y estables (Dutta, 2024).

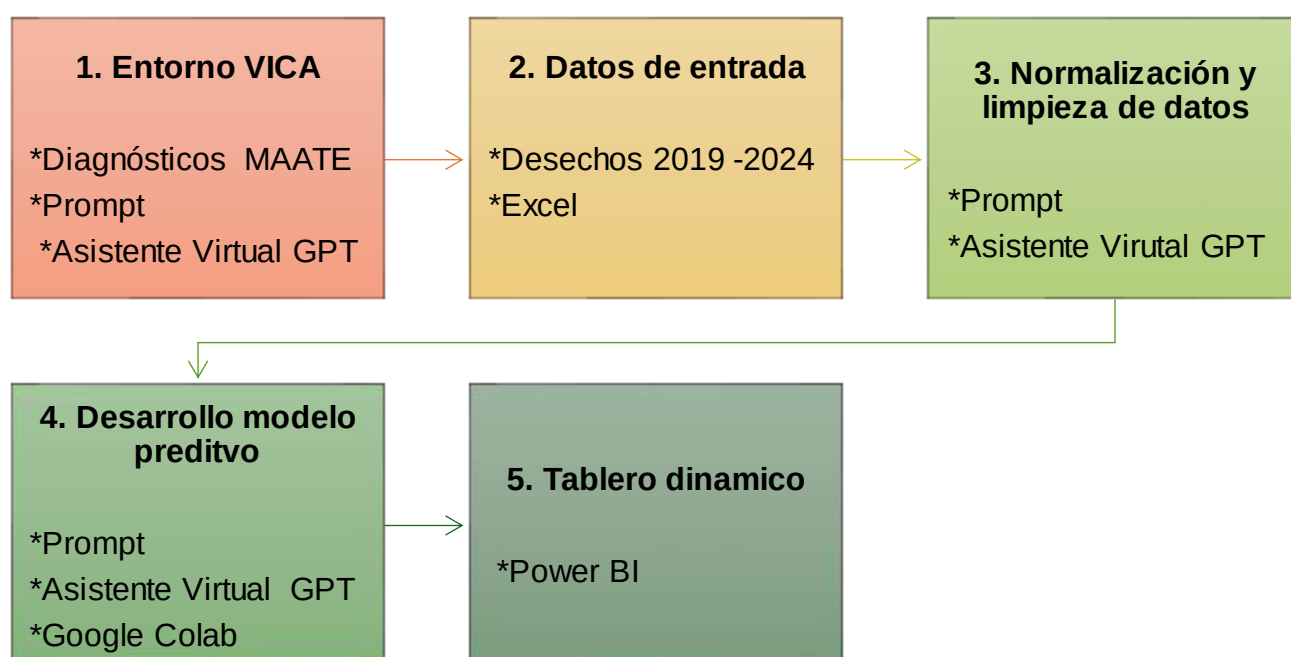


Figura 2.1 Procedimiento para la optimización de gestión técnica con AV

2.2.1 Análisis entorno VICA

El análisis del entorno VICA se realizó con el propósito de identificar las variables críticas que afectan la capacidad de disposición final de la celda del relleno sanitario del cantón

Pasaje, permitiendo justificar la implementación de AV como una estrategia para optimizar la gestión operativa del sistema.

Este enfoque integró herramientas de automatización y análisis de datos, utilizando AV ChatGPT para procesar información de diagnósticos oficiales, priorizar variables mediante una escala Likert parametrizada, y generar evaluaciones cuantitativas y cualitativas de los factores que influyen en la sostenibilidad de la gestión integral de residuos sólidos a nivel nacional y local inherente al relleno sanitario del cantón Pasaje.

Para el desarrollo de este análisis, se tomaron como referencia los diagnósticos elaborados por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) dentro del Proyecto de Gestión de Residuos Sólidos y Economía Circular Inclusiva (GRECI). Estos documentos proporcionan datos relevantes para evaluar la gestión de residuos y su impacto en la operación de un relleno sanitario dentro de un entorno VICA, obsérvese en la Tabla 2.1;

los detalles.

Tabla 2.1 Diagnósticos MAATE

Diagnóstico	Contenido	Aplicación en el análisis VICA
Diagnóstico Sectorial de la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos en Municipios del Ecuador (Ministerio del Ambiente, 2023a)	Analiza la cantidad y características de los residuos generados a nivel nacional, segmentados por provincias y tipo de cantón. Incluye datos sobre producción per cápita, densidad, volumen y proyecciones de generación.	Volatilidad: La variabilidad en la cantidad y composición de residuos impacta la planificación operativa del relleno sanitario, afectando su capacidad de almacenamiento y su vida útil.
Diagnóstico Económico-Financiero de la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos (Ministerio del Ambiente, 2023c).	Evalúa costos operativos, ingresos municipales y brechas de financiamiento en la GIRS. Analiza la dependencia de subsidios y tasas de recuperación.	Incertidumbre: Las fluctuaciones en la recaudación y la dependencia de subsidios afectan la estabilidad financiera del relleno, poniendo en riesgo su sostenibilidad a largo plazo.
Diagnóstico Municipal de las Fases de Gestión	Examina la gestión operativa de los municipios en cada fase de la GIRS, desde recolección	Complejidad: La insuficiencia de infraestructura y la falta de

Diagnóstico	Contenido	Aplicación en el análisis VICA
Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos (Ministerio del Ambiente, 2023d)	hasta disposición final. Incluye infraestructura, costos operativos y eficiencia técnica.	datos técnicos precisos dificultan la optimización de la capacidad de disposición final y la eficiencia operativa del sistema.
Diagnóstico e Identificación de Problemática de la GIRS en Ecuador mediante Procesos Participativos (Ministerio del Ambiente, 2023b).	Recoge la percepción de expertos y actores clave sobre los desafíos en la gestión de residuos en Ecuador. Identifica barreras regulatorias y operativas mediante talleres participativos y análisis FODA.	Ambigüedad: La falta de normativa técnica clara y la dispersión regulatoria generan dificultades en la planificación operativa y en la ejecución de proyectos de infraestructura.

A partir de los diagnósticos, se identificaron las variables críticas que afectan la capacidad de disposición final del relleno sanitario. Para su evaluación, se empleó la escala Likert representada en la Tabla 2.2, considerando tres criterios fundamentales:

- **Frecuencia:** ¿Con qué regularidad ocurre el problema?
- **Impacto:** ¿Qué tan significativo es su efecto en la capacidad de disposición final?
- **Relevancia:** ¿Qué tan importante es resolverlo para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario?

Tabla 2.2 Escala Likert

1	Muy bajo
2	Bajo
3	Moderado
4	Alto
5	Muy Alto

Para optimizar el análisis automatizado, se diseñaron prompts específicos que guiaron al asistente virtual en la evaluación de cada variable dentro del entorno VICA, estos se plasman en Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Diseño de prompts

Categoría VICA	Variable	Prompt para Asistentes Virtuales
Volatilidad	Fluctuaciones en la generación y composición de residuos	Basado en el Diagnóstico Sectorial de la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos en Municipios del Ecuador (MAATE, GRECI), evalúa la categoría Volatilidad en la variable Fluctuaciones en la generación y composición de residuos. Aplica la evaluación utilizando tres criterios de impacto en una escala Likert de 1 a 5: (1) Frecuencia: ¿Con qué regularidad ocurren fluctuaciones significativas en la generación y composición de residuos? (2) Impacto: ¿Qué tan significativo es su efecto en la capacidad de disposición final del relleno sanitario? (3) Relevancia: ¿Qué tan importante es resolver este problema para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario? Salida esperada: Devuelve una tabla estructurada con las siguientes columnas en este orden exacto: (1) Categoría VICA, (2) Variable Independiente, (3) Criterio Evaluado, (4) Puntuación en Escala Likert (1-5), (5) Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE, (6) Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios), (7) Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA, justificando la puntuación total asignada en función del diagnóstico analizado.

Categoría VICA	Variable	Prompt para Asistentes Virtuales
Incertidumbre	Disponibilidad de recursos financieros	Según el Diagnóstico Económico-Financiero de la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos (MAATE, GRECI), evalúa la categoría Incertidumbre en la variable Disponibilidad de recursos financieros. Aplica la evaluación utilizando tres criterios de impacto en una escala Likert de 1 a 5: (1) Frecuencia: ¿Con qué regularidad los GADM enfrentan problemas de financiamiento para la operación y mantenimiento del relleno sanitario? (2) Impacto: ¿Qué tan significativo es su efecto en la capacidad de disposición final del relleno sanitario? (3) Relevancia: ¿Qué tan importante es resolver este problema para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario? Salida esperada: Devuelve una tabla estructurada con las siguientes columnas en este orden exacto: (1) Categoría VICA, (2) Variable Independiente, (3) Criterio Evaluado, (4) Puntuación en Escala Likert (1-5), (5) Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE, (6) Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios), (7) Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA, justificando la puntuación total asignada en función del diagnóstico analizado.
Complejidad	Infraestructura insuficiente	A partir del Diagnóstico Municipal de las Fases de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos (MAATE, GRECI), evalúa la categoría Complejidad en la variable Infraestructura insuficiente. Aplica la evaluación utilizando tres criterios de impacto en una escala Likert de 1 a 5: (1) Frecuencia: ¿Con qué regularidad ocurre la insuficiencia de infraestructura en la operación del relleno sanitario? (2) Impacto: ¿Qué tan significativo es su efecto en la capacidad de disposición final del relleno sanitario?

Categoría VICA	Variable	Prompt para Asistentes Virtuales
		(3) Relevancia: ¿Qué tan importante es resolver este problema para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario? Salida esperada: Devuelve una tabla estructurada con las siguientes columnas en este orden exacto: (1) Categoría VICA, (2) Variable Independiente, (3) Criterio Evaluado, (4) Puntuación en Escala Likert (1-5), (5) Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE, (6) Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios), (7) Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA, justificando la puntuación total asignada en función del diagnóstico analizado.
Ambigüedad	Interpretaciones contradictorias de normativas	Con base en el Diagnóstico e Identificación de Problemática de la GIRS en Ecuador mediante Procesos Participativos (MAATE, GRECI), evalúa la categoría Ambigüedad en la variable Interpretaciones contradictorias de normativas. Aplica la evaluación utilizando tres criterios de impacto en una escala Likert de 1 a 5: (1) Frecuencia: ¿Con qué regularidad ocurren inconsistencias normativas que afectan la gestión del relleno sanitario? (2) Impacto: ¿Qué tan significativo es su efecto en la capacidad de disposición final del relleno sanitario? (3) Relevancia: ¿Qué tan importante es resolver este problema para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario? Salida esperada: Devuelve una tabla estructurada con las siguientes columnas en este orden exacto: (1) Categoría VICA, (2) Variable Independiente, (3) Criterio Evaluado, (4) Puntuación en Escala Likert (1-5), (5) Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE,

Categoría VICA	Variable	Prompt para Asistentes Virtuales
		(6) Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios), (7) Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA, justificando la puntuación total asignada en función del diagnóstico analizado.

Este análisis metodológico permitió identificar de manera objetiva las variables que afectan la gestión del relleno sanitario dentro de un entorno VICA. A través de la automatización de interpretación de información con el asistente virtual, se optimiza la identificación de riesgos y oportunidades, permitiendo una gestión más eficiente y basada en datos. Los resultados obtenidos de este análisis fueron fundamentales para diseñar estrategias de optimización operativa del sistema.

2.2.2 Datos de entrada

La recopilación de datos se realizó mediante colaboración con la institución responsable de la operación del relleno sanitario del cantón Pasaje. Esta institución proporcionó data del proceso de pesaje recopilada durante el período 2019-2024. Estos datos fueron consolidados en formato Excel y comprendieron los datos correspondientes a los pesos de desechos, fecha, ruta, fuente, obsérvese Figura 2.2.



Figura 2.2 Datos de entrada

2.2.3 Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete abarcó tres fases fundamentales del proyecto: normalización y limpieza de datos, desarrollo del modelo predictivo y tablero dinámico para la generación de reportes técnicos de alto valor. Estas fases se enfocaron en garantizar la calidad de los datos, desarrollar predicciones y darle una aplicabilidad óptima al tablero como instrumento clave para la toma de decisiones operativas en la gestión del relleno sanitario, obsérvese Figura 2.3.

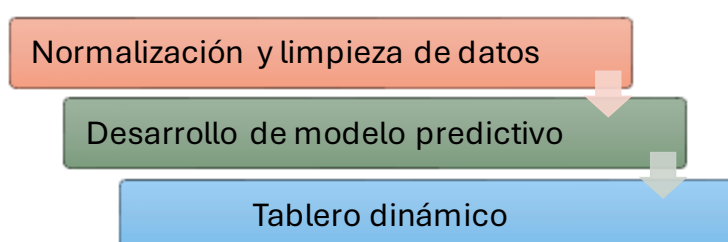


Figura 2.3 Trabajo en gabinete

2.2.3.1 Normalización y limpieza de datos

Para garantizar la calidad y fiabilidad de los registros, se empleó un enfoque basado en la ciencia de datos y la automatización mediante asistentes virtuales, en particular ChatGPT. Se definieron procesos secuenciales para estandarizar la información, minimizar errores y facilitar su posterior análisis. Como parte de este procedimiento, se aplicó el prompt detallado en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Prompt aplicado para la normalización y limpieza de datos

<i>Proceso</i>	<i>Prompt</i>
Normalización y limpieza de datos	Estoy realizando un proceso de optimización de la gestión técnica de un relleno sanitario mediante asistentes virtuales y trabajo con una base de datos histórica de residuos sólidos que debe ser

Proceso	Prompt
	normalizada, limpiada y estructurada para garantizar su correcta utilización en Google Colab y Power BI. La base de datos contiene las columnas "FUENTE", "FECHA", "RUTA" y "PESO NETO DESECHOS", por lo que es necesario realizar una normalización estricta de la columna "RUTA" según la fuente de origen. Para los registros donde "FUENTE" sea "servicio recolección", la columna "RUTA" debe asignarse únicamente a una de las siguientes opciones: 7, 15-A, 1-A, 1-C, 2-B, 2-C, 3-A, 3-B, 3-C, 4-A, 4-B, 8-A, 8-B, CANTÓN PASAJE, y en caso de que existan variaciones en la nomenclatura (por ejemplo, "1 A" en lugar de "1-A"), se deben reemplazar automáticamente por la forma correcta sin eliminar filas, solo ajustando la nomenclatura. Para los registros donde "FUENTE" sea "particulares", la columna "RUTA" debe cambiarse a "particulares", indicando que estos residuos provienen de vehículos particulares y no de una ruta específica del servicio de recolección. La columna "FECHA" debe convertirse al formato AAAA-MM-DD, pero asegurando que se mantenga como un tipo de dato de fecha real en Excel para que pueda ser filtrada fácilmente por AÑO y MES desde la sección de filtros en Excel y Power BI. Además, la columna "PESONETO DESECHOS" debe transformarse de kilogramos (kg) a toneladas (t), aplicando la conversión de 1 t = 1,000 kg, asegurando que los valores sean numéricos y listos para cálculos en Power BI. Adicionalmente, se deben identificar y eliminar registros duplicados, especialmente en los datos de pesaje de residuos, manteniendo solo

Proceso	Prompt
	valores únicos, y revisando valores inconsistentes en la columna "RUTA" para corregirlos con la nomenclatura estándar. Es fundamental asegurar que no existan valores nulos en columnas clave y validar la coherencia de los datos para evitar errores de digitación o inconsistencias. El resultado final debe ser un archivo Excel (.xlsx) limpio, estructurado y listo para importarse en Power BI y Google Colab, con las columnas normalizadas, sin inconsistencias en rutas, fechas corregidas en formato de fecha real, y datos preparados para análisis predictivo y visualización.

2.2.3.2 Desarrollo del modelo predictivo

Para la modelación de la generación futura de desechos sólidos no peligrosos en el cantón Pasaje, se utilizaron los datos obtenidos tras el proceso de normalización y limpieza mediante el asistente virtual, así como la proyección poblacional del cantón basada en la tasa de crecimiento proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

En la Tabla 2.5 se presentan la línea base del proceso de análisis de datos implementados a través de la aplicación de prompt específico para generar el modelo predictivo. Se empleó el asistente virtual CHAT GPT para determinar el código Python a ser aplicado en Google Colab:

Tabla 2.5 Prompts modelo predictivo

Proceso	Prompt
GOOGLE COLAB	Desarrolla un código en Python para ejecutar en Google Colab que realice un análisis de regresión lineal para predecir la generación de residuos sólidos en el cantón Pasaje. El código debe montar Google Drive y cargar dos archivos de Excel: "2019-2024_cleaned.xlsx", que contiene datos históricos de residuos con las columnas FECHA y PESO NETO, y "POBLACIONAL_PASAJE.xlsx", que tiene información poblacional con las columnas AÑO, POBLACION y TASA DE CRECIMIENTO. Primero, debe leer los archivos y asegurarse de que los nombres de las columnas no contengan espacios en blanco. Luego, debe extraer el año de la columna FECHA, calcular el total de PESO NETO por año (PESO_ANUAL) y unirlo con la información de población usando la columna AÑO. Se deben eliminar valores nulos en los datos combinados. El modelo de regresión lineal debe entrenarse con POBLACION y TASA DE CRECIMIENTO como variables independientes (X) y PESO_ANUAL como la variable dependiente (y). Luego, debe calcular y mostrar las métricas de desempeño del modelo: MAE (Error Absoluto Medio), MSE (Error Cuadrático Medio), RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio) y R^2 (Coeficiente de Determinación). Además, debe generar un gráfico en matplotlib que compare los datos reales vs predicciones del modelo utilizando marcadores circulares (o) para los datos reales y marcadores en x para las predicciones. El código también debe proyectar la generación de residuos para los años 2024-2034, extrayendo los valores futuros de POBLACION y TASA DE CRECIMIENTO desde el archivo de población, generando predicciones con el modelo y almacenando los resultados en un DataFrame con las columnas AÑO y PREDICCION_PESO_ANUAL.

Proceso	Prompt
	Finalmente, debe imprimir la tabla de predicciones futuras y devolverla como salida. Asegúrate de que el código esté bien estructurado, comentado y optimizado para ejecutarse en Google Colab sin errores.

Se utilizó ChatGPT para generar el código en Python del modelo predictivo, el cual fue ejecutado en Google Colab. Este modelo permitió estimar la generación futura de desechos sólidos no peligrosos, integrando la información obtenida tras la normalización y limpieza de datos con la proyección poblacional del cantón Pasaje.

A través de su implementación en Google Colab, se aplicó un modelo de regresión lineal que permitió evaluar su solidez mediante cálculos y visualizaciones detalladas, asegurando la reproducibilidad del análisis y su integración en procesos automatizados de gestión de datos.

Los resultados obtenidos proporcionaron predicciones consistentes, permitiendo analizar la tendencia futura de generación de residuos y respaldar la toma de decisiones en la gestión del relleno sanitario del cantón Pasaje.

2.2.4 Solución a diseñar

La fase final del proyecto consistió en la integración de los datos procesados y las predicciones generadas en un tablero interactivo en Power BI, diseñado para facilitar la visualización y análisis dinámico de la gestión de desechos en el relleno sanitario del cantón Pasaje.

- Entrada: Se importaron a Power BI los datos procesados y el modelo predictivo, lo que permitió estructurar una base de información sólida para la representación gráfica y el análisis interactivo.
- Salida: El dashboard interactivo en Power BI proporcionó una visualización clara y dinámica de los volúmenes proyectados de residuos sólidos no peligrosos.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Entorno VICA

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de prompts en ChatGPT generaron los datos estructurados en la Tabla 3.1, Tabla 3.2, Tabla 3.3 y Tabla 3.4, donde se analizan las cuatro dimensiones del entorno VICA (Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad y Ambigüedad) en el contexto de la gestión del relleno sanitario del cantón Pasaje.

Tabla 3.1. Salida variable independiente (Volatilidad)

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE	Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios)	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
Volatilidad	Fluctuaciones en la generación y composición de residuos	Frecuencia	3	Las fluctuaciones en la generación de residuos en Ecuador ocurren con frecuencia moderada, afectadas por eventos estacionales y urbanos.	4	Las fluctuaciones en la generación de residuos sólidos en Ecuador presentan una variabilidad moderada con un impacto significativo en la disposición final. Se recomienda fortalecer los mecanismos de planificación para mitigar los efectos de

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE	Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios)	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
		Impacto	4	El impacto de estas fluctuaciones en la capacidad de disposición final es significativo, debido a la variabilidad en el volumen de residuos.		estas variaciones en la infraestructura de gestión de residuos.
		Relevancia	4	La resolución de este problema es altamente relevante para la sostenibilidad del sistema de gestión de residuos.		

Tabla 3.2 Salida variable independiente (Incertidumbre)

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado	Puntuación Total de la Variable	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
Incertidumbre	Disponibilidad de recursos financieros	Frecuencia	5	Los GADM enfrentan con alta frecuencia problemas de financiamiento para la operación y mantenimiento del relleno sanitario. El 45% del servicio de gestión de residuos es subsidiado por los municipios debido a la falta de ingresos suficientes.	5	La incertidumbre financiera en los GADM es alta debido a la falta de estabilidad en las fuentes de financiamiento y la dependencia de subsidios estatales. La ausencia de un plan de liberación de subsidios en el 90% de los municipios refuerza esta situación crítica
		Impacto	4	El impacto de la falta de financiamiento es significativo, ya que los costos de operación superan los ingresos anuales en todas las categorías de GADM. Esto limita la inversión en mejoras y mantenimiento.		
		Relevancia	5	Resolver este problema es fundamental para la sostenibilidad del relleno sanitario. El 90% de los GADM no cuentan con un		

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado	Puntuación Total de la Variable	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
				plan de liberación de subsidios, lo que compromete la viabilidad a largo plazo.		

Tabla 3.3 Salida variable independiente (Complejidad)

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado	Puntuación Total de la Variable	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
Complejidad	Infraestructura insuficiente	Frecuencia	5	La insuficiencia de infraestructura en la operación del relleno sanitario es recurrente. El 45,7% de los sitios de disposición final operan de manera no técnica, lo que indica una falta significativa de infraestructura adecuada.	5	La complejidad en la infraestructura de disposición final es alta debido a la falta de rellenos sanitarios operados técnicamente. Solo el 35,7% de los GADM tienen infraestructura adecuada, lo que indica que la mayoría enfrenta problemas estructurales graves.
		Impacto	5	El impacto de esta insuficiencia es severo, ya que limita la capacidad de disposición final y genera		

				contaminación. La falta de sitios técnicamente adecuados afecta el manejo de los residuos en el 39,4% de los GADM.		
		Relevancia	5	Resolver este problema es de alta prioridad. La implementación de rellenos sanitarios adecuados garantizaría una gestión sostenible de residuos, sin embargo, actualmente solo el 35,7% de los GADM cuentan con estos sitios.		

Tabla 3.4. Salida variable independiente (Ambigüedad)

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado	Puntuación Total de la Variable	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
Ambigüedad	Interpretaciones contradictorias de normativas	Frecuencia	5	Las inconsistencias normativas son frecuentes y afectan la gestión del relleno sanitario. El marco legal es disperso, con falta de normativas secundarias y guías estandarizadas.	5	La ambigüedad en la normativa es un problema crítico en la gestión de residuos sólidos. La falta de estandarización y claridad en la regulación afecta la planificación, ejecución y

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado	Puntuación Total de la Variable	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
		Impacto	4	El impacto es significativo, ya que la falta de claridad normativa genera retrasos en los procesos administrativos y operativos, afectando la planificación y ejecución de proyectos de disposición final.		control de la disposición final, generando incertidumbre en los GADM.
		Relevancia	5	Resolver este problema es fundamental para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario. Sin una normativa clara y armonizada, los GADM enfrentan dificultades en la aplicación de la jerarquización de residuos.		

3.1.2 Datos de entrada

La base de datos inicial, proporcionada por la institución a cargo de la operación del relleno sanitario del cantón Pasaje, contenía registros de fechas, rutas de recolección y pesos de desechos sólidos, consolidados en formato Excel, ver Tabla 3.5. Estos datos fueron empleados como insumo para la normalización y limpieza en AV ChatGPT, con el objetivo de optimizar su uso en análisis predictivos.

Tabla 3.5 Extracto de datos de entrada previamente a la normalización

FECHA	RUTA	PESO NETO
3/1/2022	1A	7820
3/1/2022	1-A	7080
5/1/2022	1-A	6780
5/1/2022	1- A	5020
6/1/2022	1-A	7470
7/1/2022	1-A	5600
7/1/2022	1A	4300
9/1/2022	1A	5340

3.1.3 Normalización y limpieza de datos

Para garantizar la integridad y confiabilidad de la base de datos, se implementaron diversas acciones clave. El preprocesamiento de datos consistió en la verificación de la calidad de los datos de entrada del servicio de disposición final de desechos sólidos, asegurando la disponibilidad de la información relevante para su limpieza con el AV.

Se procedió a la creación y aplicación de prompt, este se fundamentó en establecer el contexto, límites, ejemplos, rol, tono de redacción y formato en el cual requería la salida de la base de datos.

Se aplicó descripción detallada de la nomenclatura para la columna "RUTA" y garantizar la coherencia en la clasificación de los datos. Asimismo, se controló la transformación de datos indicando con claridad el ajuste que se requirió en la columna "FECHA" que requería aplicarle formato "AAAA-MM-DD" para facilitar su uso en Python y Power BI.

Además, la columna "PESO NETO DESECHOS" fue convertida de kilogramos a toneladas (1 t = 1,000 kg), permitiendo una estandarización adecuada para los modelos predictivos. También se direccionó para la eliminación de valores nulos en columnas críticas con el objetivo de garantizar la integridad de los datos.

Posteriormente, se llevó a cabo un proceso riguroso de validación de datos para asegurar la coherencia entre las variables clave. Se verificó que la columna "RUTA" contuviera exclusivamente valores válidos según la fuente de origen y que los datos estuvieran estructurados de manera homogénea. Esto permitió optimizar su aplicación en análisis predictivos y la toma de decisiones estratégicas en la gestión de residuos sólidos.

Este procedimiento generó la obtención de una base de datos confiable, normalizada y lista para su uso en herramientas de análisis de datos y visualización (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 3.6 Extracto de datos descargados de AV post aplicación de prompt

FECHA	RUTA	PESO NETO
3/1/2022	1-A	7,82
3/1/2022	1-A	7,08
5/1/2022	1-A	6,78
5/1/2022	1-A	5,02
6/1/2022	1-A	7,47
7/1/2022	1-A	5,6
7/1/2022	1-A	4,3
9/1/2022	1-A	5,34

3.1.4 Desarrollo de modelo predictivo

3.1.4.1 Google Colab

Utilizando Python en Google Colab, se ejecutó un modelo predictivo basado en algoritmos de regresión para estimar la generación futura de desechos sólidos no peligrosos en el cantón Pasaje. Este modelo permitió proyectar la evolución anual de la

generación de residuos, proporcionando una base cuantitativa para la planificación y gestión del relleno sanitario.

Los resultados obtenidos, detallados en la Tabla 3.7, reflejan un crecimiento progresivo en la cantidad de desechos generados, con un incremento constante desde 28,262 toneladas en 2025 hasta 40,287 toneladas en 2034. Estas proyecciones son fundamentales para la toma de decisiones estratégicas, permitiendo anticipar la capacidad requerida para la disposición final, optimizar la asignación de recursos y diseñar estrategias sostenibles que mitiguen el impacto ambiental asociado al crecimiento de residuos.

Tabla 3.7 Salida modelo predictivo Python en Google Colab

Año	Generación de Desechos (toneladas)
2025	28262
2026	29392
2027	30670
2028	32023
2029	33405
2030	34796
2031	36191
2032	37572
2033	38934
2034	40287

3.2 Análisis de resultados

3.2.1 Entorno VICA

El diagnóstico nacional del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) identifica que la gestión de residuos en Ecuador enfrenta un entorno VUCA (volátil, incierto, complejo y ambiguo), lo que limita la sostenibilidad de los rellenos sanitarios. En el cantón Pasaje, estos mismos factores afectan la planificación y

operación del sistema de disposición final, reflejando una realidad estructural presente a nivel nacional, observase Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Entorno VICA en relleno sanitario del cantón Pasaje

Categoría VICA	Escala Linket	Relevancia en Ecuador	Impacto en Pasaje
Volatilidad	4	Variaciones en la generación de residuos afectan la planificación de los rellenos sanitarios.	La fluctuación de residuos impacta la vida útil de las celdas y la capacidad operativa.
Incertidumbre	5	Alta dependencia de subsidios municipales pone en riesgo la sostenibilidad financiera.	La falta de ingresos propios limita inversiones en infraestructura y mantenimiento.
Complejidad	5	Deficiencias en la infraestructura impiden una adecuada disposición final.	Infraestructura insuficiente aumenta los riesgos ambientales y operativos.
Ambigüedad	5	Falta de normativas claras retrasa la implementación de mejoras.	La dispersión normativa genera incertidumbre en la toma de decisiones y planificación.

El análisis muestra que la realidad de Pasaje no es aislada, sino parte de una tendencia estructural observada a nivel nacional. Sin embargo, la identificación de estos desafíos permite plantear estrategias de gestión adaptativa para mejorar la sostenibilidad del sistema de disposición final de residuos en el cantón.

Por lo tanto, se explica que la gestión técnica del relleno sanitario del cantón Pasaje está dentro de un entorno VICA por la naturaleza propia de la actividad, subsiguientemente se determinan los principales desafíos y estrategias de mejora:

- **Volatilidad en la generación de residuos:** Las variaciones en la cantidad y composición de residuos, influenciadas por factores estacionales y urbanos, afectan la capacidad operativa del relleno sanitario. Sin modelos predictivos, la planificación se ve comprometida, aumentando la presión sobre la infraestructura. El uso de herramientas de inteligencia artificial es oportunidad para anticipar tendencias y optimizar la capacidad de respuesta.
- **Incertidumbre financiera:** La gestión de residuos en Ecuador depende en un 45% de subsidios municipales, lo que genera inestabilidad en la operación de los rellenos sanitarios. En Pasaje, la falta de ingresos propios para la operación del relleno sanitario restringe la inversión en infraestructura y mantenimiento. Para mejorar la sostenibilidad financiera, se deberá analizar la implementación de tarifas progresivas, alianzas público-privadas y optimización de la recaudación por servicios ambientales.
- **Complejidad estructural:** El 45,7% de los sitios de disposición final en Ecuador operan sin estándares técnicos adecuados, lo que compromete su viabilidad a largo plazo. En Pasaje, la infraestructura limitada genera deficiencias en la planificación y riesgos ambientales. La solución propuesta por el MAATE incluye la regionalización de la gestión de residuos, permitiendo optimizar recursos y mejorar la eficiencia operativa.
- **Ambigüedad normativa:** La dispersión del marco legal y la falta de lineamientos claros para la operatividad de un relleno sanitario generan incertidumbre en la toma de decisiones. Lo cual influencia en el cantón Pasaje limitando la ejecución de proyectos para atraer inversiones externas y dificulta la adopción de estrategias de economía circular. Para solucionar este problema, se recomienda la armonización de normativas, creación de manuales operativos y capacitación para gestores municipales.

3.2.2 Modelo predictivo

El modelo predictivo desarrollado en Python en Google Colab permitió generar una estimación confiable de la evolución futura de la generación de residuos sólidos no peligrosos en el cantón Pasaje. Para evaluar su precisión y desempeño, se emplearon métricas estadísticas fundamentales, como el coeficiente de determinación (R^2), el Error Absoluto Medio (MAE), el Error Cuadrático Medio (MSE) y la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE).

El coeficiente de determinación (R^2) de 0.77 indica que el modelo es capaz de explicar el 77% de la variabilidad en la generación de residuos sólidos, con un margen de mejora del 23%. Esto sugiere que el modelo proporciona estimaciones adecuadas, aunque podría optimizarse mediante una base de datos más extensa y la incorporación de variables adicionales que reflejen mejor los factores que influyen en la generación de residuos.

A continuación, en la Tabla 3.9 se presentan los valores obtenidos para cada métrica de evaluación:

Tabla 3.9 Métricas del modelo en datos de entrenamiento

Regresión lineal Python	MAE	MSE	RMSE	R^2
	789.24	70842.68	841.67	0.77

El análisis de las métricas confirma que el modelo presenta un buen desempeño en términos de ajuste y predicción, pero también evidencia áreas de mejora:

- El MAE de 789.24 toneladas indica que, en promedio, el modelo tiene una desviación de 789 toneladas por año respecto a los valores reales. Considerando que el relleno sanitario del cantón Pasaje recibe un promedio diario de 78 toneladas de residuos, este margen de error equivale aproximadamente a 10.12 días de operación.

- El MSE de 70,842.68 toneladas refleja que existen algunas desviaciones considerables en las predicciones, penalizando los valores atípicos que pueden impactar la precisión del modelo.
- El RMSE de 841.67 toneladas representa la desviación estándar del error del modelo en la misma unidad de medida que los datos de residuos sólidos. Esto indica que, en promedio, las predicciones pueden presentar una variabilidad de 841 toneladas con respecto a los valores reales, lo que equivale aproximadamente a 10.8 días de operación del relleno sanitario.

Estos resultados demuestran que el modelo es funcional y preciso dentro de los límites establecidos, aunque podría beneficiarse de la incorporación de más años de datos históricos y de la exploración de técnicas más avanzadas de modelado predictivo, como algoritmos de aprendizaje automático o regresión polinómica.

3.2.3 Diseño de la solución

La implementación del tablero dinámico en Power BI permitió consolidar y visualizar datos clave para la gestión operativa del relleno sanitario del cantón Pasaje, proporcionando una herramienta integral para el monitoreo, análisis y toma de decisiones estratégicas en la disposición final de residuos sólidos no peligrosos. El tablero interactivo se estructuró en dos secciones principales:

- 1) Historial de Desechos Sólidos No Peligrosos, que permite analizar los datos históricos de generación de residuos con distintos filtros y variables de interés. Los datos presentados en este tablero dinámico corresponden al análisis y consolidación de información recopilada durante el periodo de operación 2019 – 2024 en el relleno sanitario del cantón Pasaje. La información representada incluye el historial anual de generación de residuos, el peso neto según la fuente (particulares o recolectores), el peso neto desglosado por ruta, y la posibilidad de aplicar filtros para el análisis según fuente, ruta o periodo de fechas de interés para la generación de reportes específicos.

- 2) Proyección de Generación de Desechos Sólidos, que presenta estimaciones futuras con base en el modelo predictivo, facilitando la planificación operativa y la optimización de recursos. La información obtenida a partir de las proyecciones de generación de desechos sólidos no peligrosos del modelo fue integrada en esta pestaña del tablero interactivo. Adicionalmente, se incorporaron datos de la caracterización nacional del Diagnóstico Sectorial de la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos en Municipios del Ecuador (Ministerio del Ambiente, 2023a).

3.2.3.1 Historial de desechos sólidos no peligrosos

Esta sección del tablero interactivo permite analizar el comportamiento histórico de la generación de residuos sólidos no peligrosos en el cantón Pasaje desde 2019 hasta 2024, consolidando datos clave para la evaluación del sistema de disposición final y la planificación de estrategias de mejora. Se estructura en seis componentes esenciales:

Componente 1: Análisis de Producción Per Cápita y capacidad operativa

Incluye indicadores clave como la producción per cápita (PPC) de residuos, que se estima en 0.670 kg/hab/día, y el volumen total de residuos generados por día, equivalente a 78 toneladas diarias. Estos datos son fundamentales para dimensionar la capacidad del relleno sanitario y prever escenarios futuros de saturación, obsérvese esto en la Figura 3.1:



Figura 3.1 Análisis de Producción Per Cápita y capacidad operativa

Componente 2: Filtros de fecha, fuente y ruta

Permite seleccionar intervalos de fechas específicas y categorizar la información según la fuente de generación de residuos (particulares o recolectores municipales) y la ruta de recolección. Esto posibilita un análisis detallado sobre cómo varían los volúmenes de residuos en función de la fuente de generación y la zona de cobertura, obsérvelo en la Figura 3.2:



The image shows a user interface for filters. At the top is a dark blue header with the word 'FILTROS' in white. Below this header are three filter boxes on a light blue background. The first box is labeled 'FUENTE' and has a dropdown menu with 'Todas' selected. The second box is labeled 'RUTA' and also has a dropdown menu with 'Todas' selected. The third box is labeled 'FECHA' and contains two date input fields: the first is '01/01/2019' and the second is '01/12/2024', both with calendar icons to their right.

Figura 3.2 Filtros de fecha, fuente y ruta

Componente 3: Distribución de residuos por fuente

Presenta la cantidad total de residuos generados en el período de análisis, desglosada por su origen. Se observa que 71.04% de los residuos provienen de los recolectores municipales, mientras que 28.96% corresponde a particulares. Esta información es crucial para evaluar la eficiencia del sistema de recolección y el impacto de los generadores privados en la gestión de residuos. A continuación, se plasma la visualización de esto mediante Figura 3.3:

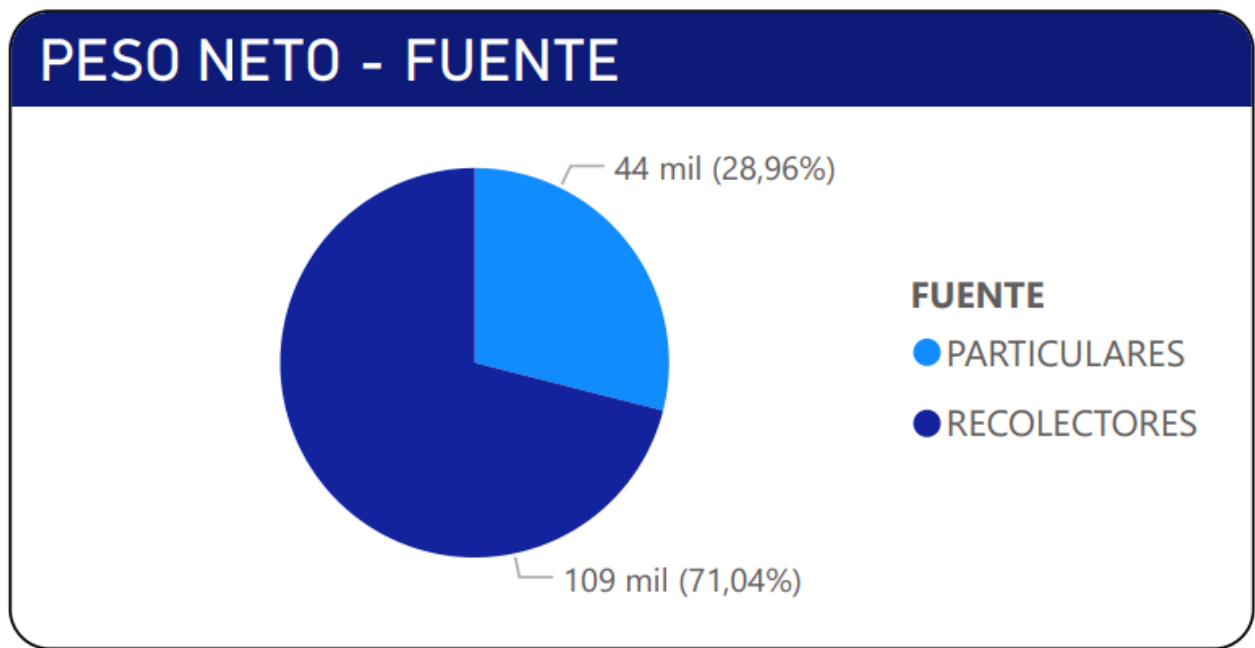


Figura 3.3 Distribución de residuos por fuente

Componente 4: Distribución de residuos por ruta

Este módulo permite evaluar la cantidad de residuos recolectados en cada ruta específica dentro del cantón. Se identifican rutas con mayor carga de residuos, como 1-A y 15-A, con 10,909 y 7,848 toneladas respectivamente, lo que permite optimizar la planificación de la recolección y distribución de recursos. En la Figura 3.4 presentada a continuación se visualiza:

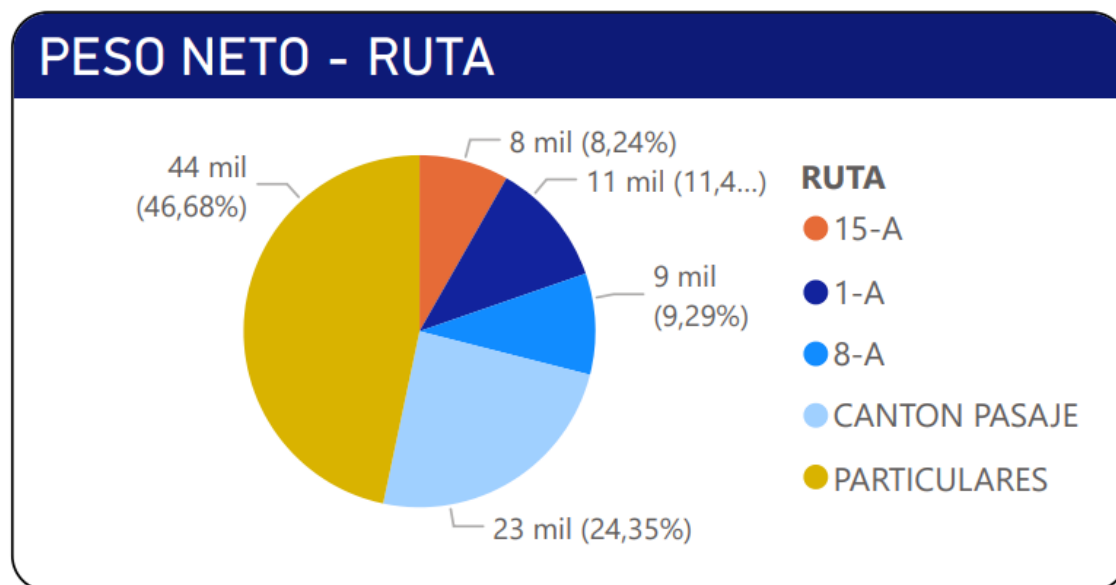


Figura 3.4 Distribución de residuos por ruta

Componente 5: Tendencia histórica anual

Muestra la evolución de la generación de residuos sólidos por año, destacando un crecimiento sostenido en los volúmenes de desechos. En 2019, se generaron 23,500 toneladas, aumentando progresivamente hasta 28,100 toneladas en 2024, lo que sugiere la necesidad de fortalecer la capacidad operativa del relleno sanitario, obsérvese la Figura 3.5:

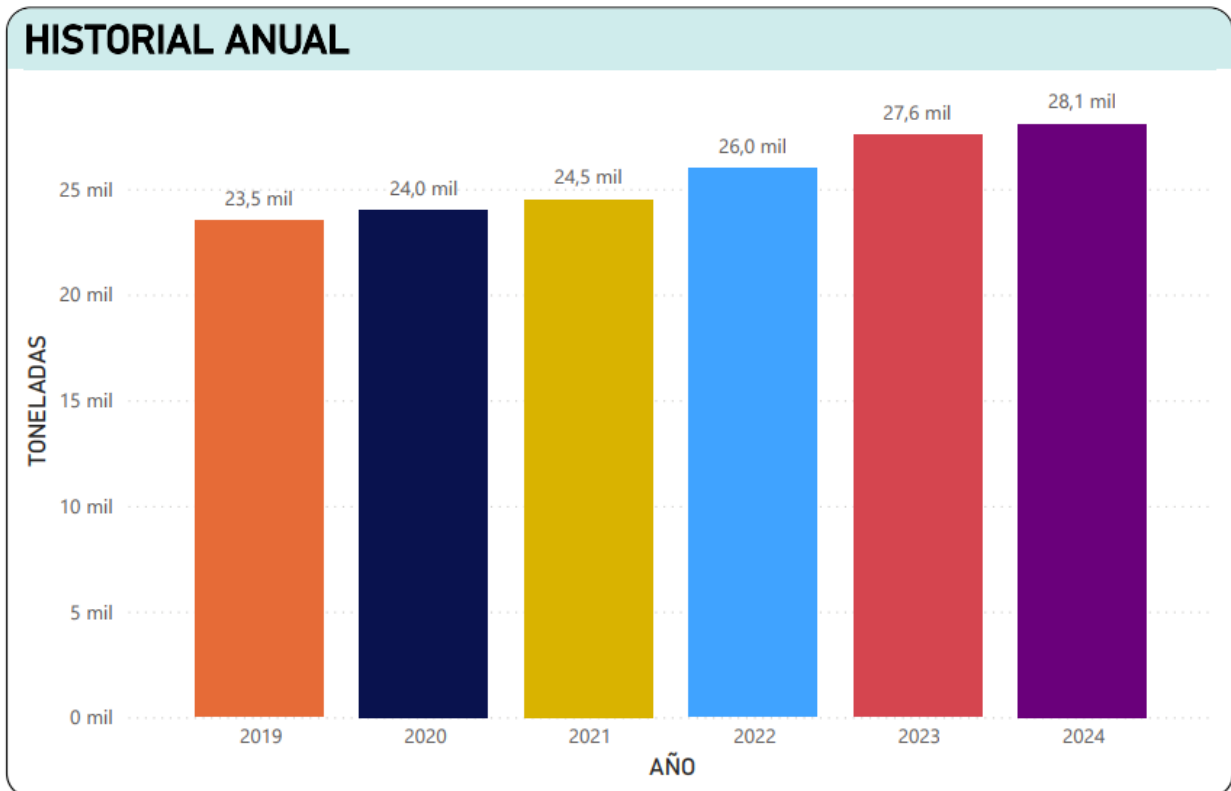


Figura 3.5 Tendencia histórica anual

Componente 6: Distribución de residuos por ruta y fuente de generación

Este componente proporciona una visión detallada de la cantidad de residuos recolectados según la ruta de recolección y la fuente de generación dentro del cantón Pasaje. La tabla muestra la distribución de los residuos en función de las rutas operativas y su respectiva carga en toneladas, permitiendo analizar cuáles zonas presentan mayor generación de desechos y su impacto en la logística de recolección y disposición final.

Se destacan rutas con altos volúmenes de residuos, como 1-A (10,909 toneladas) y 15-A (7,848 toneladas), lo que sugiere la necesidad de ajustar frecuencias de recolección o mejorar la capacidad operativa en estos sectores.

Además, se observa un desglose entre los residuos provenientes de particulares (44,481 toneladas), lo que permite evaluar el impacto de cada fuente en la generación total de desechos.

La sumatoria general refleja un total de 147,886 toneladas de residuos gestionados, constituyendo un indicador clave para dimensionar la capacidad del relleno sanitario y línea base para proyectar necesidades futuras de infraestructura y optimización operativa.

RUTA	TONELADAS
15-A	7848
1-A	10909
1-C	3390
2-B	7107
2-C	7254
3-A	7598
3-B	5125
3-C	2641
4-A	7340
4-B	3754
7	1149
8-A	8854
8-B	7236
CANTON PASAJE	23199
PARTICULARES	44481
Total	147886

Figura 3.6 Distribución de residuos por ruta y fuente de generación

3.2.3.2 Proyección de generación de desechos sólidos

Esta sección del tablero está enfocada en la planificación estratégica de la gestión de residuos, principalmente a partir de las proyecciones obtenidas del modelo predictivo en Python. Se organiza en cinco componentes clave:

Componente 1: Filtros de año y tipo de residuo

Permite seleccionar el año de proyección y analizar la composición de los residuos generados según su tipología, facilitando la identificación de tendencias en la generación de desechos específicos, obsérvese la Figura 3.7:



The image shows a user interface element titled 'FILTROS' in a dark blue header. Below the header, there are two white dropdown menus with blue borders. The first menu is labeled 'TIPO' and has 'Todas' selected. The second menu is labeled 'AÑO' and also has 'Todas' selected. Both menus have a small downward arrow icon on the right side.

Figura 3.7 Filtros de año y tipo de residuo

Componente 2: Gráfica de proyección anual de residuos

Muestra la evolución proyectada de la generación de residuos sólidos hasta 2034, reflejando un crecimiento sostenido, con un incremento estimado de 1,400 toneladas anuales. Esto permite prever la capacidad requerida para la disposición final en el relleno sanitario, obsérvese la gráfica en la Figura 3.8:

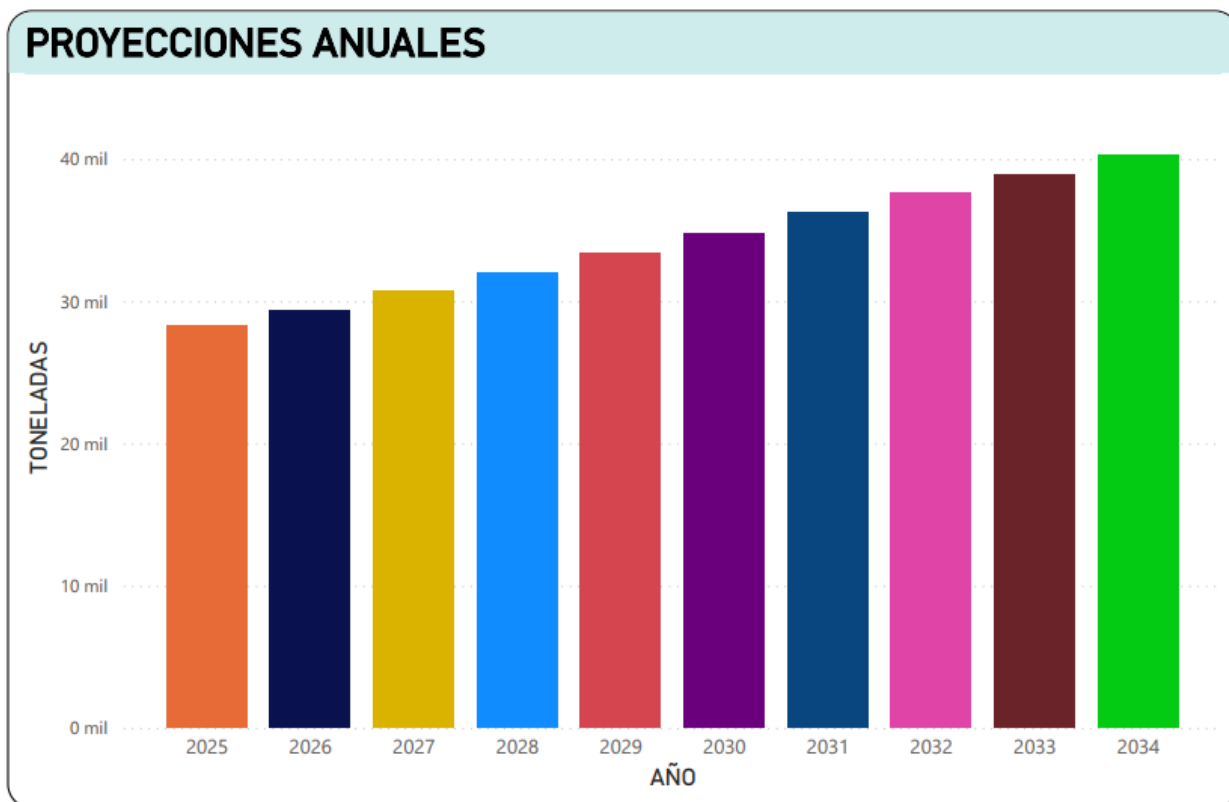


Figura 3.8 Gráfica de proyección anual de residuos

Componente 3: Caracterización de residuos por tipo

Presenta la distribución de los residuos generados en diferentes categorías, destacando que los residuos orgánicos representan el 61.46% del total proyectado, seguidos por plásticos (16.05%) y papel (9.7%). Esta información es crucial para diseñar estrategias de reciclaje y valorización de residuos.

Subsiguientemente, se plasma en la Figura 3.9 la distribución explicada acorde la caracterización de desechos sólidos:

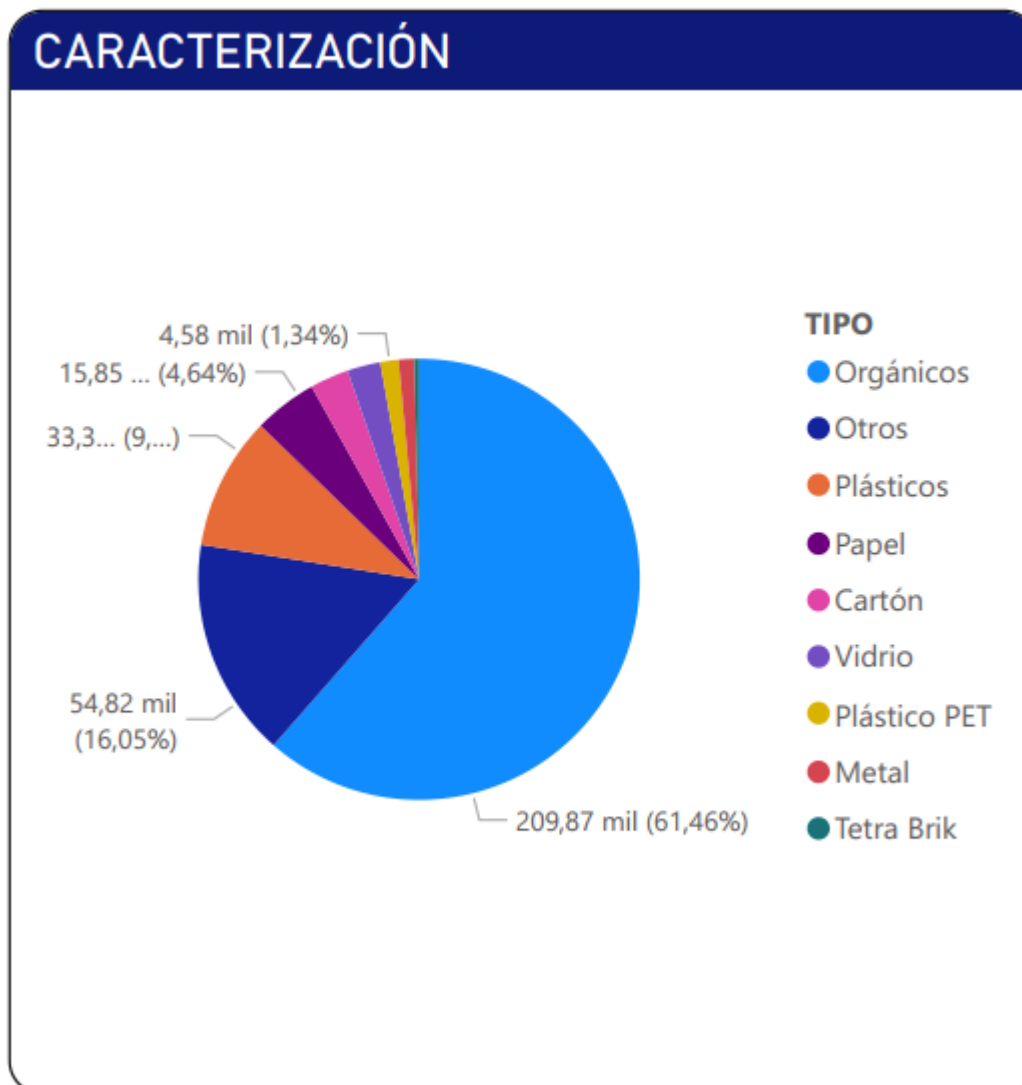


Figura 3.9 Caracterización de residuos por tipo

Componente 4: Proyección de volumen por habitante

Permite evaluar la cantidad de residuos generados per cápita en función del crecimiento poblacional, facilitando la implementación de políticas de reducción de residuos y educación ambiental, obsérvese la Figura 3.10:



Figura 3.10 Proyección de volumen por habitante

Componente 5: Integración con datos nacionales y economía circular

Incorpora referencias del Diagnóstico Sectorial de la Gestión de Residuos No Peligrosos en Municipios del Ecuador (Ministerio del Ambiente, 2023) y del Proyecto de Gestión de Residuos Sólidos y Economía Circular Inclusiva (GRECI), alineando las estrategias de gestión local con estándares nacionales e internacionales. Obsérvese la Figura 3.11:

AÑO	TIPO	CARACTERIZACIÓN
2025	Cartón	802,65
2025	Metal	319,36
2025	Orgánicos	17.367,23
2025	Otros	4.536,11
2025	Papel	1.311,37
2025	Plástico PET	378,72
2025	Plásticos	2.758,41
2025	Tetra Brik	98,92
2025	Vidrio	686,78
2026	Cartón	834,72
2026	Metal	332,12
2026	Orgánicos	18.061,13
2026	Otros	4.717,35
2026	Papel	1.363,77
2026	Plástico PET	393,85
Total		341.497,99

Figura 3.11 Integración con datos nacionales y economía circular

El tablero dinámico en Power BI no solo permite visualizar el comportamiento histórico de la generación de residuos, sino que también proporciona herramientas predictivas que facilitan la planificación estratégica y la toma de decisiones basadas en datos. Su

implementación representa un avance significativo en la modernización de la gestión operativa del relleno sanitario del cantón Pasaje, garantizando una administración más eficiente y alineada con los principios de sostenibilidad y economía circular. En Anexo 4.29 y Anexo 4.30 se muestra la vista total del prototipo desarrollado en el presente.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El estudio evidenció que la gestión del relleno sanitario del cantón Pasaje está altamente influenciada por la volatilidad en la generación de residuos, la incertidumbre financiera, la complejidad por la insuficiencia de infraestructura y la ambigüedad normativa. Estos factores dificultan la planificación y sostenibilidad del sistema, requiriendo estrategias innovadoras para mejorar su eficiencia. La evaluación mediante la escala Likert mostró una volatilidad del 80% (4 en la escala Likert), lo que refleja variaciones en la cantidad y composición de residuos que afectan la operatividad del relleno. La incertidumbre financiera, con una ponderación del 100% (5 en la escala Likert), confirma la dependencia del servicio en subsidios, limitando la inversión en infraestructura y comprometiendo su estabilidad a largo plazo. La complejidad obtuvo una valoración del 100% (5 en la escala Likert), evidenciando que la capacidad de confinamiento es limitada y representa un riesgo crítico para la operatividad futura del relleno sanitario. Finalmente, la ambigüedad normativa, con un 100% (5 en la escala Likert), resalta la falta de regulaciones claras y directrices técnicas, dificultando la toma de decisiones y la implementación de mejoras necesarias en la gestión de residuos. En este contexto, el análisis detallado de estas variables permitió justificar la implementación de asistentes virtuales como una estrategia para optimizar la gestión operativa del sistema, facilitando la toma de decisiones en un entorno caracterizado por volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad (VICA).

El análisis de los datos históricos del período 2019-2024 del servicio de disposición final de desechos sólidos en el cantón Pasaje permitió estructurar, procesar y optimizar la información mediante un asistente virtual y un modelo predictivo. La normalización y limpieza de datos en AV ChatGPT corrigió inconsistencias en nomenclatura, formatos y valores nulos, garantizando la coherencia y calidad de la base de datos. Posteriormente, se desarrolló un modelo de regresión en Python en Google Colab, obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.77, lo que indica que el modelo explica el 77% de la variabilidad en la generación de residuos sólidos, con una precisión adecuada para proyecciones futuras. Los resultados estimaron un crecimiento progresivo de los

residuos, pasando de 28,262 toneladas en 2025 a 40,287 toneladas en 2034, lo que evidencia la necesidad de optimizar la capacidad de disposición final y mejorar la planificación operativa. Este enfoque confirma que la integración de inteligencia artificial y modelo predictivo permite transformar grandes volúmenes de datos en información estratégica de alto valor, facilitando una gestión eficiente y sostenible del relleno sanitario del cantón Pasaje.

El prototipo de gestión de datos, representado por el tablero dinámico en Power BI, fue desarrollado con el propósito de optimizar la generación de reportes técnicos ágiles en la gestión del relleno sanitario del cantón Pasaje. La implementación de un asistente virtual permitió estructurar, procesar y automatizar la integración de datos en esta herramienta interactiva, facilitando su visualización y análisis en tiempo real. Este tablero dinámico actúa como una plataforma centralizada que mejora la eficiencia en la interpretación de la información operativa, permitiendo a los tomadores de decisiones acceder de manera inmediata a métricas clave sobre la generación y disposición de residuos sólidos. La automatización de reportes mediante este prototipo no solo agiliza los procesos de monitoreo y evaluación del sistema de gestión de residuos, sino que también optimiza la planificación estratégica al proporcionar información precisa, estructurada y actualizada para la toma de decisiones.

4.2 Recomendaciones

Para fortalecer la gestión del relleno sanitario del cantón Pasaje y garantizar la sostenibilidad del sistema de disposición final de residuos sólidos, se plantean las siguientes recomendaciones:

Se recomienda consolidar el uso del asistente virtual en la normalización, estructuración y análisis de datos, asegurando su integración continua con modelos predictivos. La ampliación de la base de datos con información local más detallada permitirá mejorar la precisión en la proyección de la generación de residuos y optimizar la planificación operativa del relleno sanitario.

Si bien el modelo en Python obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.77, su precisión podría incrementarse mediante el ajuste de hiperparámetros, la incorporación de más años de datos históricos y la exploración de algoritmos avanzados de aprendizaje automático. Esto permitiría fortalecer su aplicabilidad en la planificación estratégica del relleno sanitario.

Se recomienda la implementación de ordenanzas locales que regulen la aplicación de tarifas progresivas por la gestión de residuos, estableciendo un mecanismo de control que supervise la recaudación y el uso eficiente de los recursos destinados a la operación del relleno sanitario. Además, se deben impulsar alianzas público-privadas y gestionar fuentes de financiamiento externo para fortalecer la inversión en infraestructura, garantizando la sostenibilidad económica del sistema.

Considerando que la insuficiencia de infraestructura representa un desafío crítico, se recomienda la construcción de nuevas celdas con tecnologías de compactación y manejo eficiente de residuos. Asimismo, se sugiere evaluar la regionalización de la gestión de residuos, permitiendo una optimización de costos operativos y un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

La ambigüedad normativa identificada en el estudio resalta la necesidad de establecer ordenanzas municipales específicas y manuales operativos que adapten la regulación a la realidad local del cantón Pasaje. Para ello, se recomienda la capacitación de los gestores municipales en normativas ambientales, economía circular y planificación operativa, asegurando la aplicación efectiva de estrategias de optimización en la gestión de residuos.

Dado que el tablero interactivo desarrollado en Power BI ha demostrado ser una herramienta clave para la visualización y análisis de datos, se recomienda su uso continuo para la generación de reportes técnicos de alto valor, facilitando la toma de decisiones estratégicas basadas en información estructurada y en tiempo real. Además, se sugiere la integración de nuevos indicadores operativos y financieros que permitan evaluar el desempeño del sistema de disposición final de residuos.

En conjunto, estas recomendaciones buscan mejorar la eficiencia operativa, garantizar la sostenibilidad financiera y fortalecer la capacidad de planificación estratégica del relleno sanitario del cantón Pasaje, alineándose con los principios de economía circular y gestión integral de residuos sólidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adeniran, A. E., Nubi, A. T., & Adelopo, A. O. (2017). Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a sustainable waste management. *Waste Management*, 67, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.002>
- Arcela Roca, L. Y. (2018). *Sistema de Control Operacional para la Mejora del Servicio de Recolección de Residuos Sólidos en San Martín de Porres, Lima, 2018*.
- Barbier, L., & Tengeh, R. K. (2022). Enhancing Public Service Delivery in a VUCA Environment in South Africa: A Literature Review. *RUDN Journal of Public Administration*, 9(4), 418–437. <https://doi.org/10.22363/2312-8313-2022-9-4-418-437>
- Burgos Cano, M. J. (2023). *Generación de una herramienta de información sobre el proceso de disposición de residuos para la comunidad de la Universidad de los Andes*.
- Cha, G. W., Park, C. W., & Kim, Y. C. (2024). Optimal Machine Learning Model to Predict Demolition Waste Generation for a Circular Economy. *Sustainability (Switzerland)*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/su16167064>
- Chertow, M., Reck, B. K., Wrzesniewski, A., & Calli, B. (2024). Outlook on the future role of robots and AI in material recovery facilities: Implications for U.S. recycling and the workforce. *Journal of Cleaner Production*, 470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143234>
- Dantas, D., Nunes Santos, M. de C., Baldissera, L. P., & Calegario, N. (2021). Machine learning for carbon stock prediction in a tropical forest in southeastern Brazil. *Bosque*, 42(1), 131–140. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002021000100131>
- Dunkel, J., Dominguez, D., Borzdynski, Ó. G., & Sánchez, Á. (2022). Solid Waste Analysis Using Open-Access Socio-Economic Data. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031233>
- Dutta, A. (2024). *Project management for scientific research*.
- Esenyel, V. (2024). Evolving Leadership Theories: Integrating Contemporary Theories for VUCA Realities. *Administrative Sciences*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/admsci14110270>

- Freire Viteri, S. B. (2023). *Herramientas de inteligencia artificial: La irrupción de CHATGPT en los ámbitos académico y empresarial*.
- Gutiérrez-Ramos, E. M., García-Ramos, T. E., Roca-Vásquez, K. L., & Valiente-Saldaña, Y. M. (2024). Gestión de residuos sólidos y la contaminación ambiental en el sector urbano. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 9(17), 108–118. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3156>
- Herrera-Uchalin, M. G., Valiente-Saldaña, Y. M., Garibay-Castillo, J. V., & Herrera-Cherres, S. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal: Revisión sistémica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(16), 150–170. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i16.2540>
- Johannes, K., & Tatiana, B. (2024). Factors to achieve cost efficiency in operation and manufacturing projects in VUCA environment. *IFAC-PapersOnLine*, 58(3), 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.121>
- Kleinová, K., & Straka, M. (2024). Streamlining Distribution Routes Using the Language Model of Artificial Intelligence. *Sustainability (Switzerland)*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/su16166890>
- Manolov, R., & Rochat, L. (2024). Analyzing data in single-case experimental designs: Objectives and available software options. In *Journal of Behavioral and Cognitive Therapy* (Vol. 34, Issue 4). Elsevier Masson s.r.l. <https://doi.org/10.1016/j.jbct.2024.100511>
- Matagi, L., Richards, D., Yabar, H., Mizunoya, T., Tran, G. H., & Ogbonna, C. T. (2024). Enhancing Solid Waste Management in Fiji: A Comprehensive Approach with LCA, GIS, and Waste Treatment Strategies. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200228>
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2023a). *Cantidad y características de los residuos y desechos sólidos no peligrosos*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/1.pdf>
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2023b). *Diagnóstico e Identificación de Problemática de la GIRS en Ecuador mediante Procesos Participativos*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/6.pdf>
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2023c). *Diagnóstico Económico-Financiero de la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/4.pdf>

- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2023d). *Diagnóstico Municipal de las Fases de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/2.pdf>
- Pachon Ariza, C. D. (2024). *Evaluación y mejora continua de los sistemas de gestión de residuos sólidos en la Empresa SUPERPOLO S.A.S.*
- Pitakaso, R., Srichok, T., Khonjun, S., Golinska-Dawson, P., Sethanan, K., Nanthasamroeng, N., Gonwirat, S., Luesak, P., & Boonmee, C. (2024). Optimization-driven artificial intelligence-enhanced municipal waste classification system for disaster waste management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108614>
- Pozo Cruz, B. D., & Rengifo Garcia, M. A. (2023). *MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO Y EL USO DE GESTORES DE DESECHOS EN LA CABECERA CANTONAL DE SANTA ELENA, ECUADOR*.
- Puentes Aguilar, J. A., & Jiménez Olarte, S. S. (2023). *PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR MEDIO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN SITIOS DE DISPOSICIÓN EN LA UNIVERSIDAD EAN*.
- Quiches Pinto, J., Pimentel Roque, V. M., Mogollón Sandoval, O. J., & Pimentel Tenorio, V. N. (2025). El pensamiento innovador, el entorno VUCA y el cambio en las organizaciones. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 7804–7816. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15466
- Recycleye. (2024). *La IA y el reconocimiento de residuos: por qué funciona tan bien - Recycleye*. <https://recycleye.com/es/la-ia-y-el-reconocimiento-de-residuos/>
- Rodríguez-Ríos, E. (2024). Dataset on recovered waste post-earthquake 2016 in Manabi Province, Ecuador for recycling and reuse. *Data in Brief*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110953>
- Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. In *Omnia Año* (Vol. 20, Issue 3).
- Sánchez Yáñez, J. M., & Márquez Benavides, L. (2024). Gestión de residuos sólidos y la inteligencia artificial en el contexto mexicano. *Ciencia Nicolaita*, 90. <https://doi.org/10.35830/cn.vi90.722>
- Zabihollahi, S., Rahmani, A., Safari Sinigani, A. A., Samadi, M. T., Aghadadashi, V., Khazaei, M., Leili, M., Afshar, S., Karami, P., & Zafari, D. (2024). Assessing

microbial soil community dynamics in a municipal solid waste landfill: Impacts of waste type and disposal timing. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100918>

ANEXOS

Anexo 4.1 Ingreso de prompt para analizar variable independiente (Volatilidad)

Chatgpt 4o

Compartir

1.PDF
Pdf

Basado en el Diagnóstico Sectorial de la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos en Municipios del Ecuador (MAATE, GRECI), evalúa la categoría Volatilidad en la variable Fluctuaciones en la generación y composición de residuos. Aplica la evaluación utilizando tres criterios de impacto en una escala Likert de 1 a 5: (1) Frecuencia: ¿Con qué regularidad ocurren fluctuaciones significativas en la generación y composición de residuos? (2) Impacto: ¿Qué tan significativo es su efecto en la capacidad de disposición final del relleno sanitario? (3) Relevancia: ¿Qué tan importante es resolver este problema para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario? Salida esperada: Devuelve una tabla estructurada con las siguientes columnas en este orden exacto: (1) Categoría VICA, (2) Variable Independiente, (3) Criterio Evaluado, (4) Puntuación en Escala Likert (1-5), (5) Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE, (6) Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios), (7) Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA, justificando la puntuación total asignada en función del diagnóstico analizado.

Envía un mensaje a ChatGPT

Anexo 4.2 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Volatilidad)

Chatgpt 4o

Compartir

diagnóstico del MAATE, (6) Puntuación total de la variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios), (7) Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA, justificando la puntuación total asignada en función del diagnóstico analizado.

Aquí te presento la tabla estructurada con los tres criterios evaluados para la variable Fluctuaciones en la generación y composición de residuos dentro de la categoría de Volatilidad según el diagnóstico sectorial:

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado	Puntuación Total de la Variable	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
Volatilidad	Fluctuaciones en la generación y composición de residuos	Frecuencia	4	Las fluctuaciones en la generación de residuos son frecuentes, especialmente en temporadas altas como las	4	La volatilidad está asociada con fluctuaciones regulares en la generación de residuos, lo que

Envía un mensaje a ChatGPT

Anexo 4.3 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Volatilidad)

Chatgpt 4o

Compartir

				especialmente en temporadas altas como las festividades o cambios estacionales. Esto se debe a cambios en el comportamiento de consumo de la población y las condiciones climáticas.		la generación de residuos, lo que incrementa la complejidad de la planificación y gestión del relleno sanitario.
Volatilidad	Fluctuaciones en la generación y composición de residuos	Impacto	3	Aunque las fluctuaciones son regulares, su impacto no es crítico, pero puede generar sobrecarga ocasional en las celdas de disposición final, afectando la	3	El impacto es moderado, con picos que demandan ajustes operativos, pero no comprometen gravemente la capacidad a largo plazo.

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.4 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Volatilidad)

Chatgpt 4o

Compartir

				disposición final, afectando la eficiencia de la operación del relleno sanitario en términos de espacio y recursos.		la capacidad a largo plazo.
Volatilidad	Fluctuaciones en la generación y composición de residuos	Relevancia	5	Resolver este problema es crucial para la sostenibilidad del relleno sanitario, ya que manejar estas fluctuaciones eficientemente optimiza la capacidad de disposición y minimiza los costos operativos.	5	La importancia de gestionar esta volatilidad es alta, ya que permite asegurar la eficiencia operativa y la viabilidad a largo plazo del relleno sanitario.

Puntuación Total de la Variable: 4.0

La puntuación total se obtuvo al promediar las puntuaciones de los tres criterios evaluados, reflejando que la volatilidad por fluctuaciones en la generación y composición de residuos es una variable de

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.5 Ingreso de prompt para analizar variable independiente (Incertidumbre)

Chatgpt 4o

Compartir

4.PDF Pdf

Según el Diagnóstico Económico-Financiero de la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos (MAATE. GRECI), evalúa la categoría Incertidumbre en la variable Disponibilidad de recursos financieros. Aplica la evaluación utilizando tres criterios de impacto en una escala Likert de 1 a 5: (1) Frecuencia: ¿Con qué regularidad los GADM enfrentan problemas de financiamiento para la operación y mantenimiento del relleno sanitario? (2) Impacto: ¿Qué tan significativo es su efecto en la capacidad de disposición final del relleno sanitario? (3) Relevancia: ¿Qué tan importante es resolver este problema para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario? Salida esperada: Devuelve una tabla estructurada con las siguientes columnas en este orden exacto: (1) Categoría VICA, (2) Variable Independiente, (3) Criterio Evaluado, (4) Puntuación en Escala Likert (1-5), (5) Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE, (6) Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios), (7) Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA, justificando la puntuación total asignada en función del diagnóstico analizado.

Aquí tienes la tabla estructurada con los tres criterios evaluados para la variable **Disponibilidad de recursos financieros** dentro de la categoría **Incertidumbre** según el diagnóstico económico-financiero del MAATE:

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.6 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Incertidumbre)

Chatgpt 4o

Compartir

del MAATE:

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado	Puntuación Total de la Variable	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
Incertidumbre	Disponibilidad de recursos financieros	Frecuencia	4	Los GADM enfrentan problemas de financiamiento con regularidad, principalmente por la falta de presupuesto asignado o la insuficiencia de fondos para cubrir los costos operativos y de mantenimiento de los rellenos sanitarios.	4	La incertidumbre en la disponibilidad de recursos financieros es frecuente, lo que afecta la capacidad de operación continua del sistema de gestión de residuos.
Incertidumbre	Disponibilidad de recursos	Impacto	5	La falta de recursos	5	El impacto es alto, ya que la

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.7 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Incertidumbre)

Chatgpt 4o

Compartir

Incertidumbre	Disponibilidad de recursos financieros	Impacto	5	La falta de recursos financieros tiene un impacto significativo en la capacidad de disposición final, pues puede llevar a interrupciones en los servicios de recolección, transporte y tratamiento de residuos.	5	El impacto es alto, ya que la insuficiencia de recursos puede comprometer directamente la operación y mantenimiento del relleno sanitario, afectando la eficiencia del servicio.
Incertidumbre	Disponibilidad de recursos financieros	Relevancia	5	Resolver este problema es crucial para la sostenibilidad del relleno sanitario, ya que los recursos financieros son fundamentales	5	La relevancia es alta, ya que contar con financiamiento adecuado es esencial para asegurar la viabilidad a largo plazo del sistema de gestión de

Envía un mensaje a ChatGPT

+ Buscar ...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.8 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Incertidumbre)

Chatgpt 4o

Compartir

				son fundamentales para mantener las operaciones y realizar las inversiones necesarias en infraestructura.		del sistema de gestión de residuos y la salud pública.
--	--	--	--	---	--	--

Puntuación Total de la Variable: 4.67

La puntuación total se obtuvo al promediar las puntuaciones de los tres criterios evaluados, reflejando que la incertidumbre en la disponibilidad de recursos financieros es una variable crítica para la gestión del relleno sanitario. Su frecuencia es alta, el impacto sobre la capacidad operativa es significativo, y su relevancia es esencial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del sistema de disposición de residuos.

Esta tabla refleja la evaluación estructurada y justificada basada en el diagnóstico del MAATE. Si necesitas algún ajuste o más información sobre los criterios, no dudes en decirme.

Envía un mensaje a ChatGPT

+ Buscar ...

↑

Anexo 4.9 Ingreso de prompt para analizar variable independiente (Complejidad)

Chatgpt 4o

Compartir

2.PDF
Pdf

A partir del Diagnóstico Municipal de las Fases de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos (MAATE, GRECI), evalúa la categoría Complejidad en la variable Infraestructura insuficiente. Aplica la evaluación utilizando tres criterios de impacto en una escala Likert de 1 a 5: (1) Frecuencia: ¿Con qué regularidad ocurre la insuficiencia de infraestructura en la operación del relleno sanitario? (2) Impacto: ¿Qué tan significativo es su efecto en la capacidad de disposición final del relleno sanitario? (3) Relevancia: ¿Qué tan importante es resolver este problema para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario? Salida esperada: Devuelve una tabla estructurada con las siguientes columnas en este orden exacto: (1) Categoría VICA, (2) Variable Independiente, (3) Criterio Evaluado, (4) Puntuación en Escala Likert (1-5), (5) Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE, (6) Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios), (7) Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA, justificando la puntuación total asignada en función del diagnóstico analizado.

Aquí te presento la tabla estructurada con los tres criterios evaluados para la variable **Infraestructura insuficiente** dentro de la categoría **Complejidad** ↓ según el diagnóstico municipal de las fases de gestión integral de residuos del MAATE:

Envía un mensaje a ChatGPT

+ Buscar ...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.10 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Complejidad)

Chatgpt 4o

Compartir

insuficiente dentro de la categoría **Complejidad** según el diagnóstico municipal de las fases de gestión integral de residuos del MAATE:

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado	Puntuación Total de la Variable	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
Complejidad	Infraestructura insuficiente	Frecuencia	5	La insuficiencia de infraestructura es un problema frecuente en los GADM, ya que muchas veces no cuentan con las condiciones adecuadas para operar eficientemente los rellenos sanitarios. Esto incluye falta de	5	La falta de infraestructura adecuada es un desafío recurrente en la operación del relleno sanitario, afectando la capacidad de tratamiento y disposición final de los residuos.

Envía un mensaje a ChatGPT

+ Buscar ...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.11 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Complejidad)

Chatgpt 4o

Compartir

				falta de espacio, instalaciones inadecuadas y equipos obsoletos.		
Complejidad	Infraestructura insuficiente	Impacto	5	La insuficiencia de infraestructura tiene un impacto significativo, ya que limita la capacidad operativa del relleno sanitario, afectando su eficiencia y aumentando los costos operativos. Esto también puede generar riesgos	5	El impacto de la infraestructura insuficiente es grave, ya que afecta directamente la operación y sostenibilidad del relleno sanitario, dificultando la correcta disposición de residuos.

Envía un mensaje a ChatGPT

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.12 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Complejidad)

Chatgpt 4o

Compartir

				riesgos ambientales y sanitarios.		
Complejidad	Infraestructura insuficiente	Relevancia	5	Resolver la insuficiencia de infraestructura es de alta relevancia para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario, ya que se requieren instalaciones adecuadas y modernas para mantener un sistema eficiente y seguro.	5	La relevancia de resolver este problema es máxima, ya que la infraestructura adecuada es fundamental para la operación continua y segura de los rellenos sanitarios.

Puntuación Total de la Variable: 5.0

La puntuación total se obtuvo al promediar las puntuaciones de los tres criterios evaluados, reflejando

Envía un mensaje a ChatGPT

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.13 Ingreso de prompt para analizar variable independiente (Ambigüedad)

Chatgpt 4o

Compartir

3.PDF
Pdf

Con base en el Diagnóstico e Identificación de Problemática de la GIRS en Ecuador mediante Procesos Participativos (MAATE, GRECI), evalúa la categoría Ambigüedad en la variable Interpretaciones contradictorias de normativas. Aplica la evaluación utilizando tres criterios de impacto en una escala Likert de 1 a 5: (1) Frecuencia: ¿Con qué regularidad ocurren inconsistencias normativas que afectan la gestión del relleno sanitario? (2) Impacto: ¿Qué tan significativo es su efecto en la capacidad de disposición final del relleno sanitario? (3) Relevancia: ¿Qué tan importante es resolver este problema para garantizar la sostenibilidad del relleno sanitario? Salida esperada: Devuelve una tabla estructurada con las siguientes columnas en este orden exacto: (1) Categoría VICA, (2) Variable Independiente, (3) Criterio Evaluado, (4) Puntuación en Escala Likert (1-5), (5) Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado basado en el diagnóstico del MAATE, (6) Puntuación Total de la Variable (Promedio de las puntuaciones de los tres criterios), (7) Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA, justificando la puntuación total asignada en función del diagnóstico analizado.

Aquí te presento la tabla estructurada con los tres criterios evaluados para la variable **Interpretaciones contradictorias de normativas** dentro de la cate

↓

la **Ambigüedad** según el diagnóstico e identificación de la problemática de la GIRS en Ecuador mediante procesos participativos (MAATE, GRECI):

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.14 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Ambigüedad)

Chatgpt 4o

Compartir

de la problemática de la GIRS en Ecuador mediante procesos participativos (MAATE, GRECI):

Categoría VICA	Variable Independiente	Criterio Evaluado	Puntuación en Escala Likert (1-5)	Análisis Descriptivo del Criterio Evaluado	Puntuación Total de la Variable	Análisis Descriptivo Final de la Categoría VICA
Ambigüedad	Interpretaciones contradictorias de normativas	Frecuencia	4	Las inconsistencias normativas son un problema frecuente en la gestión del relleno sanitario. Los GADM a menudo enfrentan ambigüedad en la interpretación de las normativas nacionales y locales, lo que provoca contradicciones en su aplicación.	4	La frecuencia de las inconsistencias normativas es alta, ya que las normativas en ocasiones son ambiguas, generando dificultades en la implementación de las políticas de gestión de residuos.

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.15 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Ambigüedad)

Chatgpt 4o

Compartir

				en su aplicación.		
Ambigüedad	Interpretaciones contradictorias de normativas	Impacto	4	Las interpretaciones contradictorias tienen un impacto moderado en la capacidad de disposición final, ya que afectan la coherencia y efectividad en la implementación de proyectos y en la aplicación de estándares operacionales en el relleno sanitario.	4	El impacto es significativo, ya que las inconsistencias en las normativas dificultan la planificación a largo plazo y la correcta gestión de los residuos en los rellenos sanitarios.
Ambigüedad	Interpretaciones contradictorias de normativas	Relevancia	5	Resolver este problema es de alta relevancia, ya que la claridad normativa es	4.33	La relevancia de resolver las contradicciones normativas es esencial para

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

↑

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.16 Salida del AV producto del prompt para analizar variable independiente (Ambigüedad)

Chatgpt 4o

Compartir

				claridad normativa es crucial para una gestión eficiente de los residuos. La falta de alineación puede llevar a errores en el cumplimiento, afectando la sostenibilidad del sistema.	esencial para garantizar la sostenibilidad de la gestión de residuos, dado que la falta de claridad puede generar obstáculos significativos.
--	--	--	--	--	--

Puntuación Total de la Variable: 4.33

La puntuación total se obtuvo al promediar las puntuaciones de los tres criterios evaluados, reflejando que la ambigüedad en las normativas es una variable de gran relevancia en la gestión de residuos. Aunque las inconsistencias ocurren con frecuencia y tienen un impacto moderado en la operación del relleno sanitario, la resolución de este problema es crucial para garantizar una gestión más eficaz y sostenible del sistema de disposición de residuos.

Este análisis refleja la evaluación detallada basada en el diagnóstico del MAATE. Si necesitas más detalles

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.17 Evidencia datos de entrada previo normalización (aplicación filtro ruta)

FUENTE	PESO NETO DESECHOS
PARTICULARES	3060
PARTICULARES	110
PARTICULARES	60
PARTICULARES	880
PARTICULARES	3930
PARTICULARES	320
PARTICULARES	440
PARTICULARES	2930
PARTICULARES	130
PARTICULARES	420
PARTICULARES	3940
PARTICULARES	2110
PARTICULARES	550
PARTICULARES	510
PARTICULARES	160
PARTICULARES	5230
PARTICULARES	1050
PARTICULARES	820

Ordenar de A a Z

Ordenar de Z a A

Ordenar por color

Vista de Hoja

Borrar filtro de "RUTA"

Filtrar por color

Filtros de texto

Buscar (Todos)

2B

2-B

2C

2-C

2-D

2-S

2Z

3 - A

ACEPTAR

Cancelar

Anexo 4.18 Ingreso prompt aplicado para la normalización y limpieza de datos

ChatGPT 4o

Compartir

1	SERVICIO RECOLECCIÓN	2019-01-01T00:00:00	8B	5830
2	SERVICIO RECOLECCIÓN	2019-01-01T00:00:00	2B	5830
3	SERVICIO RECOLECCIÓN	2019-01-01T00:00:00	1C	5390
4	SERVICIO RECOLECCIÓN	2019-01-01T00:00:00	2B	2320

Estoy realizando un proceso de optimización de la gestión técnica de un relleno sanitario mediante asistentes virtuales y trabajo con una base de datos histórica de residuos sólidos que debe ser normalizada, limpiada y estructurada para garantizar su correcta utilización en Google Colab y Power BI. La base de datos contiene las columnas "FUENTE", "FECHA", "RUTA" y "PESO NETO DESECHOS", por lo que es necesario realizar una normalización estricta de la columna "RUTA" según la fuente de origen. Para los registros donde "FUENTE" sea "servicio recolección", la columna "RUTA" debe asignarse únicamente

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.19 Salida del AV producto del prompt aplicado para la normalización y limpieza de datos

ChatGPT 4o

Compartir

inconsistencias. El resultado final debe ser un archivo Excel (.xlsx) limpio, estructurado y listo para importarse en Power BI y Google Colab, con las columnas normalizadas, sin inconsistencias en rutas, fechas corregidas en formato de fecha real, y datos preparados para análisis predictivo y visualización

Voy a procesar tu archivo para:

1. Normalizar la columna "RUTA" según la fuente de origen.
2. Estandarizar las fechas al formato AAAA-MM-DD, manteniéndolas como tipo de dato fecha.
3. Convertir "PESO NETO DESECHOS" de kilogramos a toneladas.
4. Eliminar registros duplicados.
5. Validar la coherencia de los datos y corregir errores de digitación en la columna "RUTA".
6. Asegurar que no haya valores nulos en columnas clave.

Voy a iniciar el proceso y te mostraré un resumen de los cambios antes de generar el archivo final.

Envía un mensaje a ChatGPT

+

Buscar

...

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.20 Salida del AV producto del prompt aplicado para la normalización y limpieza de datos

ChatGPT 4o

Compartir

35	48	PARTICULARES	2022-11-29	PART
36	50	PARTICULARES	2022-11-29	PART

He limpiado y normalizado la base de datos según los criterios que mencionaste. Ahora:

- La columna "FECHA" está en formato YYYY-MM-DD y es un tipo de dato de fecha real.
- La columna "RUTA" se ha corregido según la nomenclatura estándar.
- Para "FUENTE" = "PARTICULARES", la ruta se asignó como "PARTICULARES".
- Se eliminaron registros duplicados y valores nulos en columnas clave.
- "PESO NETO DESECHOS" se convirtió de kg a toneladas (t).

Puedes descargar el archivo limpio aquí:

[Descargar 2019-2024_cleaned.xlsx](#)

Déjame saber si necesitas algún otro ajuste o análisis adicional. 🚀🔗

🔊 📄 📌 🗑️ 🔄

Envía un mensaje a ChatGPT

+

🌐 Buscar

⋮

🔊

ChatGPT puede cometer errores. Considera verificar la información importante.

Anexo 4.21 Datos descargados de AV post aplicación de prompt

A	B	C	D
FUENTE	FECHA	RUTA	PESO NETO DESECHO
SERVICIO RECOLECCIÓN	28/2/2024	1-A	5,47
SERVICIO RECOLECCIÓN	28/2/2024	1-A	6,18
SERVICIO RECOLECCIÓN	26/2/2024	1-A	8,1
SERVICIO RECOLECCIÓN	26/2/2024	1-A	2,26
SERVICIO RECOLECCIÓN	25/2/2024	1-A	4
SERVICIO RECOLECCIÓN	25/2/2024	1-A	2,38
SERVICIO RECOLECCIÓN	23/2/2024	1-A	6,94
SERVICIO RECOLECCIÓN	23/2/2024	1-A	4,49
SERVICIO RECOLECCIÓN	21/2/2024	1-A	2,34
SERVICIO RECOLECCIÓN	19/2/2024	1-A	6,92
SERVICIO RECOLECCIÓN	19/2/2024	1-A	3,05
SERVICIO RECOLECCIÓN	18/2/2024	1-A	4,61
SERVICIO RECOLECCIÓN	18/2/2024	1-A	3,88
SERVICIO RECOLECCIÓN	16/2/2024	1-A	9,12
SERVICIO RECOLECCIÓN	14/2/2024	1-A	5,63
SERVICIO RECOLECCIÓN	14/2/2024	1-A	6,87
SERVICIO RECOLECCIÓN	12/2/2024	1-A	5,29
SERVICIO RECOLECCIÓN	12/2/2024	1-A	1,57
SERVICIO RECOLECCIÓN	11/2/2024	1-A	5,85
SERVICIO RECOLECCIÓN	11/2/2024	1-A	4,02

Anexo 4.22 Evidencia datos de salida de prompt (aplicación filtro ruta normalizado)

A	B	C	D
FUENTE			PESO NETO DESECHO
SERVICIO RECOLECCIÓN	Ordenar de A a Z		5,47
SERVICIO RECOLECCIÓN	Ordenar de Z a A		6,18
SERVICIO RECOLECCIÓN	Ordenar por color	>	8,1
SERVICIO RECOLECCIÓN	Vista de Hoja	>	2,26
SERVICIO RECOLECCIÓN	Borrar filtro de "RUTA"		4
SERVICIO RECOLECCIÓN	Filtrar por color	>	2,38
SERVICIO RECOLECCIÓN	Filtros de texto	>	6,94
SERVICIO RECOLECCIÓN	Buscar		4,49
SERVICIO RECOLECCIÓN	(Seleccionar todo)		2,34
SERVICIO RECOLECCIÓN	1-A		6,92
SERVICIO RECOLECCIÓN	1-C		3,05
SERVICIO RECOLECCIÓN	2-B		4,61
SERVICIO RECOLECCIÓN	2-C		3,88
SERVICIO RECOLECCIÓN	3-A		9,12
SERVICIO RECOLECCIÓN	3-B		5,63
SERVICIO RECOLECCIÓN	3-C		6,87
SERVICIO RECOLECCIÓN	4-A		5,29
SERVICIO RECOLECCIÓN			1,57
SERVICIO RECOLECCIÓN			5,85
SERVICIO RECOLECCIÓN			4,02

Anexo 4.23 Ingreso prompt aplicado en asistente virtual generación código Python

ModeloPythonRL - Colab

Regresión lineal residuos Pasaje

<https://chatgpt.com/c/67a87a2b-c0a4-800c-9e93-18349452f166>

ChatGPT 4o

Desarrolla un código en Python para ejecutar en Google Colab que realice un análisis de regresión lineal para predecir la generación de residuos sólidos en el cantón Pasaje. El código debe montar Google Drive y cargar dos archivos de Excel: "2019-2024_cleaned.xlsx", que contiene datos históricos de residuos con las columnas FECHA y PESO NETO, y "POBLACIONAL_PASAJE.xlsx", que tiene información poblacional con las columnas AÑO, POBLACION y TASA DE CRECIMIENTO. Primero, debe leer los archivos y asegurarse de que los nombres de las columnas

Envía un mensaje a ChatGPT

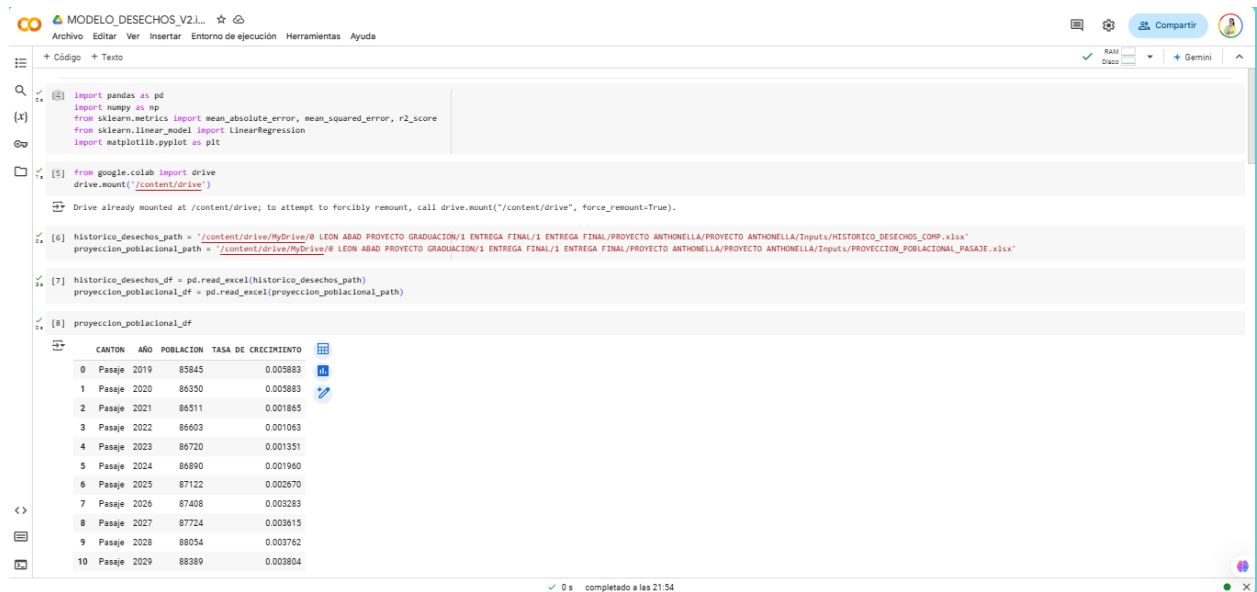
Regresion Residuos

```

1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 from sklearn.model_selection import train_test_split
5 from sklearn.linear_model import LinearRegression
6 from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error, r2_score
7
8 # Cargar archivos desde Google Drive
9 df_residuos = pd.read_excel('/mnt/data/2019-2024_cleaned.xlsx')
10 df_poblacion = pd.read_excel('/mnt/data/POBLACIONAL_PASAJE.xlsx')
11
12 # Asegurar que los nombres de las columnas no contengan espacios en blanco
13 df_residuos.columns = df_residuos.columns.str.strip()
14 df_poblacion.columns = df_poblacion.columns.str.strip()
15
16 # Extraer el año de la columna FECHA
17 df_residuos['Año'] = pd.to_datetime(df_residuos['FECHA']).dt.year
18
19 # Agrupar por año y calcular el total de PESO NETO (PESO_ANUAL)
20 df_residuos_anual = df_residuos.groupby('Año', as_index=False)['PESO NETO'].sum()
21 df_residuos_anual.rename(columns={'PESO NETO': 'PESO_ANUAL'}, inplace=True)
22
23 # Unir con la información poblacional
24 df_combined = pd.merge(df_residuos_anual, df_poblacion, on='Año', how='inner')
25
26 # Eliminar valores nulos
27 df_combined.dropna(inplace=True)
28
29 # Definir variables independientes (X) y dependiente (y)
30 X = df_combined[['POBLACION', 'TASA DE CRECIMIENTO']]
31 y = df_combined['PESO_ANUAL']
32
33 # Dividir los datos en entrenamiento y prueba
34 X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
35
36 # Crear y entrenar el modelo de regresión lineal
37 modelo = LinearRegression()

```

Anexo 4.24 Modelo regresión lineal Python-Google Colab



```
import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error, r2_score
from sklearn.linear_model import LinearRegression
import matplotlib.pyplot as plt

from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

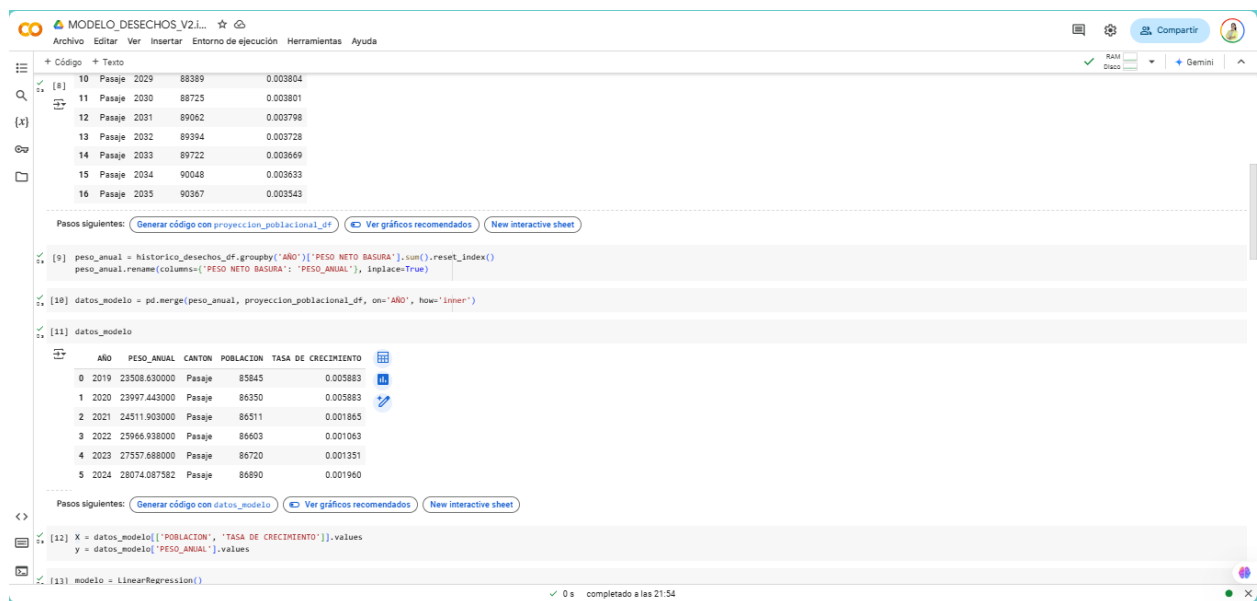
historico_desechos_path = '/content/drive/MyDrive/0 LEON ABAD PROYECTO GRADUACION/1 ENTREGA FINAL/1 ENTREGA FINAL/PROYECTO ANTHONELLA/PROYECTO ANTHONELLA/Inputs/HISTORICO_DESECHOS_COMP.xlsx'
proyeccion_poblacional_path = '/content/drive/MyDrive/0 LEON ABAD PROYECTO GRADUACION/1 ENTREGA FINAL/1 ENTREGA FINAL/PROYECTO ANTHONELLA/PROYECTO ANTHONELLA/Inputs/PROYECCION_POBLACIONAL_PASAJE.xlsx'

historico_desechos_df = pd.read_excel(historico_desechos_path)
proyeccion_poblacional_df = pd.read_excel(proyeccion_poblacional_path)

proyeccion_poblacional_df
```

	CANTON	AÑO	POBLACION	TASA DE CRECIMIENTO
0	Pasaje	2019	85845	0.005883
1	Pasaje	2020	86350	0.005883
2	Pasaje	2021	86511	0.001865
3	Pasaje	2022	86603	0.001063
4	Pasaje	2023	86720	0.001351
5	Pasaje	2024	86890	0.001960
6	Pasaje	2025	87122	0.002670
7	Pasaje	2026	87408	0.003283
8	Pasaje	2027	87724	0.003615
9	Pasaje	2028	88054	0.003762
10	Pasaje	2029	88389	0.003804

Anexo 4.25 Modelo regresión lineal Python-Google Colab



```
peso_anual = historico_desechos_df.groupby("AÑO")["PESO NETO BASURA"].sum().reset_index()
peso_anual.rename(columns={"PESO NETO BASURA": "PESO_ANUAL"}, inplace=True)

datos_modelo = pd.merge(peso_anual, proyeccion_poblacional_df, on="AÑO", how="inner")

datos_modelo
```

	AÑO	PESO_ANUAL	CANTON	POBLACION	TASA DE CRECIMIENTO
0	2019	23508.630000	Pasaje	85845	0.005883
1	2020	23997.443000	Pasaje	86350	0.005883
2	2021	24511.903000	Pasaje	86511	0.001865
3	2022	25966.938000	Pasaje	86603	0.001063
4	2023	27557.688000	Pasaje	86720	0.001351
5	2024	28074.087562	Pasaje	86890	0.001960

```
X = datos_modelo[["POBLACION", "TASA DE CRECIMIENTO"]].values
y = datos_modelo["PESO_ANUAL"].values

modelo = LinearRegression()
```

Anexo 4.26 Modelo regresión lineal Python-Google Colab

```
MODELO_DESECHOS_V21...
Archivo Editar Ver Insertar Entorno de ejecución Herramientas Ayuda

+ Código + Texto

Pasos siguientes: Generar código con datos_modelo Ver gráficos recomendados New interactive sheet

[12] X = datos_modelo[['POBLACION', 'TASA DE CRECIMIENTO']].values
     y = datos_modelo['PESO_ANUAL'].values

[13] modelo = LinearRegression()
     modelo.fit(X, y)

[14] predicciones_entrenamiento = modelo.predict(X)
     mae = mean_absolute_error(y, predicciones_entrenamiento)
     mse = mean_squared_error(y, predicciones_entrenamiento)
     rmse = np.sqrt(mse)
     r2 = r2_score(y, predicciones_entrenamiento)

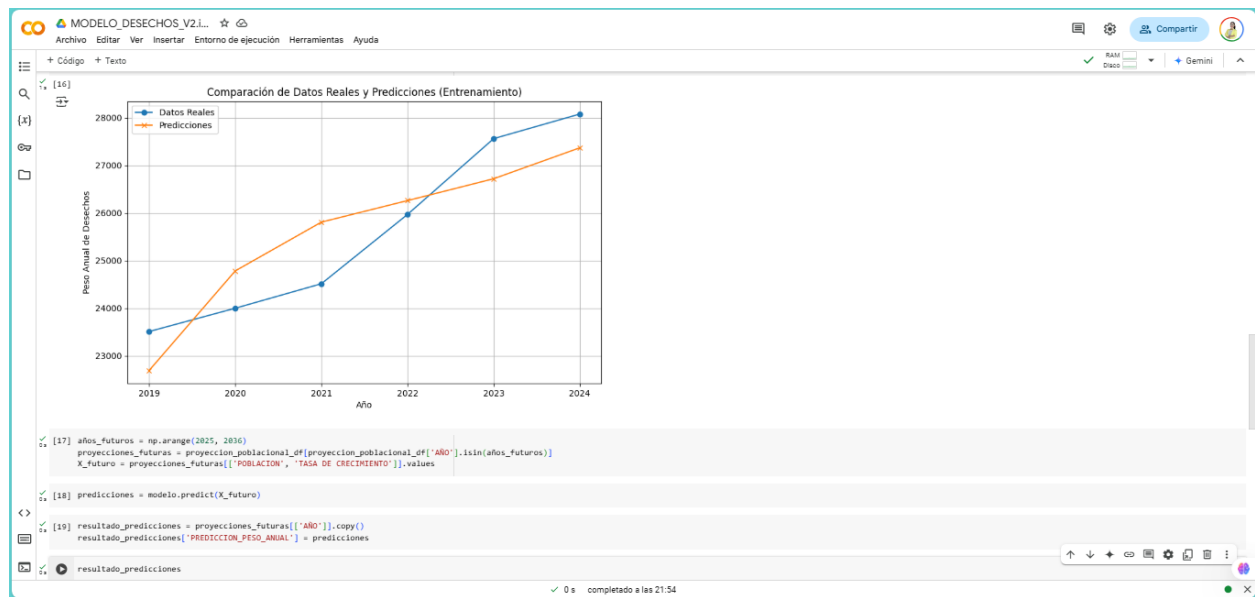
[15] print("Métricas del modelo en datos de entrenamiento:")
     print(f"- MAE: {mae}")
     print(f"- MSE: {mse}")
     print(f"- RMSE: {rmse}")
     print(f"- R2: {r2}")

Métricas del modelo en datos de entrenamiento:
- MAE: 789.2414483893135
- MSE: 788428.6833573767
- RMSE: 887.3805774321
- R2: 0.766637866459587

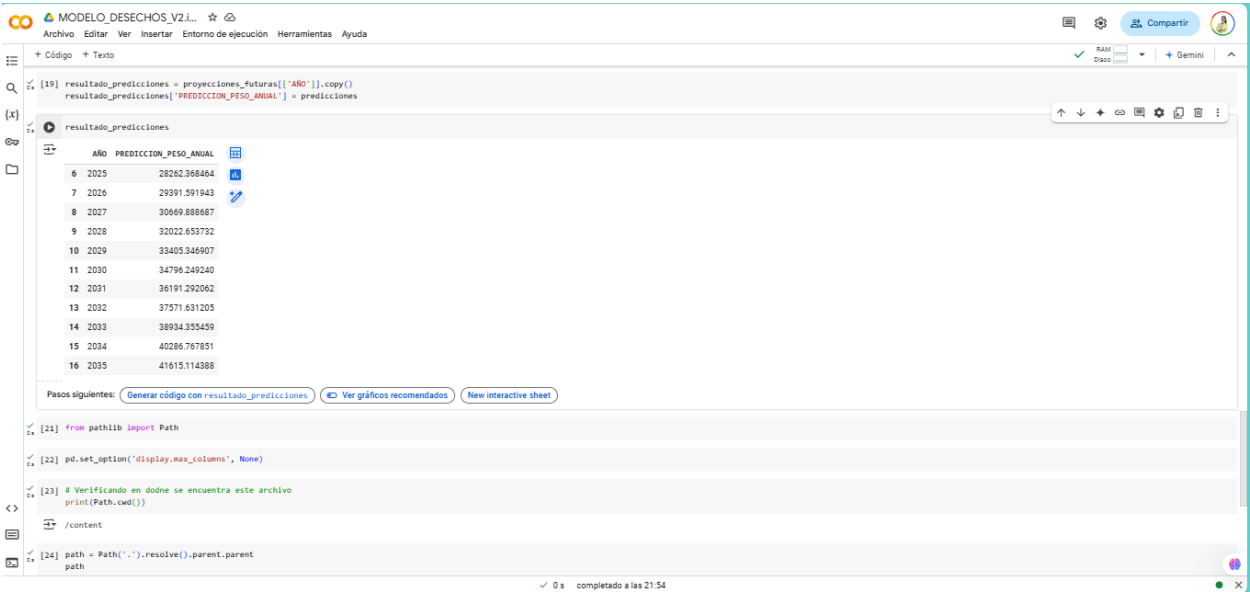
[16] plt.figure(figsize=(10, 6))
     plt.plot(datos_modelo['AÑO'], y, label="Datos Reales", marker='o')
     plt.plot(datos_modelo['AÑO'], predicciones_entrenamiento, label="Predicciones", marker='x')
     plt.xlabel("Año")
     plt.ylabel("Peso Anual de Desechos")
     plt.title("Comparación de Datos Reales y Predicciones (Entrenamiento)")
     plt.legend()
     plt.grid(True)
     plt.show()
```

0 s completado a las 21:54

Anexo 4.27 Modelo regresión lineal Python-Google Colab



Anexo 4.28 Modelo regresión lineal Python-Google Colab



Anexo 4.29 Prototipo tablero dinámico del historial de desechos sólidos no peligrosos



Anexo 4.30 Prototipo tablero dinámico de proyecciones de generación de desechos sólidos

