



Análisis de factibilidad en la prestación de la recolección de residuos sólidos
usando *lógica difusa*: Caso de estudio EMSIRVA/EMCALI

Jorge Eduardo Ospinal Jiménez

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD CIENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN
MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN COD 7880 / SEDE CALI
SANTIAGO DE CALI
2024

Análisis de factibilidad en la prestación de la recolección de residuos sólidos
usando *lógica difusa*: Caso de estudio EMSIRVA/EMCALI

Jorge Eduardo Ospinal Jiménez

Tesis como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Administración de empresas

Director

Orlando Zúñiga Escobar, PhD.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD CIENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN
MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN COD 7880 / SEDE CALI
SANTIAGO DE CALI

2024

RESUMEN

El proyecto de análisis de factibilidad en la prestación de la recolección de residuos sólidos utilizando lógica difusa, centrado en el caso de estudio de EMSIRVA/EMCALI, tenía como objetivo evaluar la viabilidad y eficiencia de implementar un sistema de gestión de residuos sólidos mejorado y optimizado en la ciudad de Cali, Colombia. Se proponía la aplicación de la lógica difusa como herramienta para mejorar la toma de decisiones en la gestión de residuos, considerando la naturaleza compleja e imprecisa de los datos y variables involucradas en este proceso.

El proyecto se enfocó en analizar la situación actual de la gestión de residuos sólidos en Cali, considerando aspectos como la infraestructura existente, los patrones de generación de residuos, los procesos de recolección y disposición final, así como los desafíos y limitaciones que enfrentaba EMSIRVA, la entidad encargada de la prestación de servicios de recolección de residuos en la ciudad, bajo la administración de EMCALI.

Se llevó a cabo un estudio exhaustivo de las características socioeconómicas y demográficas de la ciudad, así como un análisis detallado de los aspectos ambientales y legales relacionados con la gestión de residuos sólidos. También se consideraron los aspectos técnicos y operativos de la implementación de la lógica difusa en el proceso de toma de decisiones, con el fin de mejorar la eficiencia y la efectividad en la gestión de residuos sólidos, minimizando impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública.

Se elaboraron modelos matemáticos y algoritmos basados en la lógica difusa para la optimización de rutas de recolección, la estimación de demanda de servicios y la identificación de áreas prioritarias para la implementación de estrategias de gestión de residuos. Además, se consideró la viabilidad económica y financiera del

proyecto, evaluando los costos de implementación y operación en comparación con los potenciales beneficios y ahorros a largo plazo.

El proyecto culminó con la presentación de recomendaciones y estrategias concretas para la mejora de la gestión de residuos sólidos en Cali, haciendo hincapié en la importancia de la implementación de tecnologías innovadoras y enfoques de gestión modernos, con el fin de promover la sostenibilidad ambiental, la eficiencia operativa y el bienestar general de la comunidad.

PALABRAS CLAVE: Gobernanza de los servicios públicos, Gestión del desarrollo territorial, Gestión de Multiservicios, Lógica Difusa.

ABSTRACT

The feasibility analysis project in the provision of solid waste collection using fuzzy logic, focused on the EMSIRVA/EMCALI case study, aimed to evaluate the feasibility and efficiency of implementing an improved and optimized solid waste management system. in the city of Cali, Colombia. The application of fuzzy logic was proposed as a tool to improve decision-making in waste management, considering the complex and imprecise nature of the data and variables involved in this process.

The project focused on analyzing the current situation of solid waste management in Cali, considering aspects such as existing infrastructure, waste generation patterns, collection and final disposal processes, as well as the challenges and limitations faced by EMSIRVA. the entity in charge of providing waste collection services in the city, under the administration of EMCALI.

An exhaustive study of the socioeconomic and demographic characteristics of the city was carried out, as well as a detailed analysis of the environmental and legal aspects related to solid waste management. The technical and operational aspects of the implementation of fuzzy logic in the decision-making process will also be considered, in order to improve efficiency and effectiveness in solid waste management, minimizing negative impacts on the environment and health. . public.

Mathematical models and algorithms based on fuzzy logic were developed for the optimization of collection routes, the estimation of demand for services and the identification of priority areas for the implementation of waste management strategies. In addition, the economic and financial viability of the project was demonstrated, evaluating the implementation and operation costs compared to the potential long-term benefits and savings.

The project culminated in the presentation of concrete recommendations and strategies for improving solid waste management in Cali, emphasizing the importance of the implementation of innovative technologies and modern management approaches, in order to promote environmental sustainability, operational efficiency and the general well-being of the community.

KEYWORDS: Governance of public services, Territorial development management, Multiservice Management, Diffuse logic.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
3.1 Definición del problema	15
3.2 Pregunta de investigación	17
3.3 Hipótesis	17
3.4 Justificación	18
3.4.1 Aspectos sociales	18
3.4.2 Aspectos económicos	19
3.4.3 Aspectos ambientales	20
4. MARCO TEÓRICO	22
4.1 Residuos solidos	22
4.2 Gobernanza de los servicios públicos	24
4.3 Gestión del desarrollo territorial	27
4.4 Lógica difusa	28
4.5 Gestión de multiservicios	30
5 ANTECEDENTES	31
5.1 Área de estudio	31
5.2 EMCALI	32
6 MARCO NORMATIVO	34
7 METODOLOGÍA	37
7.1 Definir el modelo de negocio en calidad de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito especial de Santiago de Cali	37
7.1.1 Análisis del Contexto y Normativas	37
7.1.2 Identificación de Segmentos de Clientes	38
7.1.3 Diseño de la Infraestructura Operativa	38

7.1.4 Implementación de Tecnologías Innovadoras	40
7.1.5 Desarrollo de Estrategias de Sensibilización.....	40
7.1.6 Establecimiento de Alianzas Estratégicas	40
7.1.7 Monitoreo y Evaluación Continua	40
7.2. Evaluar la viabilidad técnica y operativa del servicio de recolección de basura en un modelo de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI basado en lógica difusa	41
7.2.1 Identificación de Variables Relevantes.....	41
7.2.2 Diseño del Sistema de Lógica Difusa	45
7.2.3 Recopilación de Datos Históricos	47
7.2.4 Implementación del Modelo en un Entorno de Prueba.....	48
7.2.5 Evaluación de Resultados y Ajustes Continuos	48
7.3 Evaluar la aceptación y la viabilidad económica de proyecto entre los diferentes actores involucrados.....	49
7.3.1 Identificación de Actores Clave	49
7.3.2 Diseño de Estrategias de Comunicación	49
7.3.3 Realización de Sesiones de Capacitación.....	50
7.3.4 Análisis de Impacto Socioeconómico	50
7.3.5 Negociación y Acuerdos con Stakeholders Económicos.....	50
7.3.6 Desarrollo de Modelos de Financiamiento Sostenible.....	50
8.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
8.1 Resultado objetivo específico I: Definir el modelo de negocio en calidad de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito especial de Santiago de Cali.....	51
8.1.1 Modelo de Evaluación Difusa	51
8.1.2 Obtención de las reglas FIS	59
8.2 Resultados objetivo específico II: Evaluar la viabilidad técnica y operativa del servicio de recolección de basura en un modelo de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI basado en lógica difusa	66
8.2.1 Cambios en la demanda	67
8.2.2 Variaciones en los costos operativos	67
8.2.3 Contratación de operadores.....	70
8.2.4 Otras variables relevantes.....	72
8.2.5 Actores claves del sistema hacia una economía circular	72

8.3 Resultados objetivo específico III: Evaluar la aceptación y la viabilidad económica del proyecto entre los diferentes actores involucrados.....	74
8.3.1 Modelo de Gestión Comercial	75
8.4 Validación del Modelo	77
8.4.1 Indicadores clave de desempeño (Kpis) para evaluar la prestación del servicio.....	77
8.4.2 Importancia de la prevención y minimización.....	78
8.4.3 Responsabilidades del prestador del servicio público de aseo.....	79
8.5 Metodología tarifaria según la resolución 720 de 2015.....	81
8.5.1 Ingresos de los operadores de servicio y análisis del “r”	82
8.6 Flota y Maquinaria.....	85
8.6.1 Toneladas por tipo de vehículo	85
8.6.2 Porcentaje de distribución de la flota	85
8.6.3 Unidades de relevo	86
8.6.4 Capacidad de recolección	86
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
9.1 Conclusiones	94
9.2 Recomendaciones.....	96
10. ANEXOS.....	99
10.1 Anexo A: Ventajas y desventajas de contratación de operadores	99
10.2 Anexo B: Capacidad Operativa y Cantidad de Operarios	100
10.3 Anexo C: Datos normalizados para las variables de entrada.....	101
REFERENCIAS.....	105

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CAPACIDAD OPERATIVA Y CANTIDAD DE OPERARIOS	39
TABLA 2. FUNCIONES DE PERTENENCIA	52
TABLA 3. ETIQUETAS DE LAS VARIABLES DEL ÍNDICE DIFUSO DE VIABILIDAD	57
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE GEOFIS Y FISPRO	58
TABLA 5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ALTERNATIVA DE PRESTACIÓN INDIRECTA.....	69
TABLA 6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CONTRATACIÓN DE OPERADORES	71
TABLA 7. EMPRESAS PRESTADORAS Y OPERADORAS DEL SERVICIO DE ASEO EN LA CIUDAD DE CALI, VALLE DEL CAUCA.	74
TABLA 8. INGRESOS DE LOS OPERADORES DE SERVICIO Y ANÁLISIS DEL “R”	83
TABLA 9. ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS RECOLECTORES.....	86
TABLA 10. NÓMINA ADMINISTRATIVA.....	90
TABLA 11. NÓMINA OPERATIVA	91

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA BÁSICO DE UN CONTROLADOR DIFUSO	29
FIGURA 2. MAPA DE COMUNAS DE CALI	31
FIGURA 3. ARQUITECTURA BÁSICA DEL MODELO MANDANI.....	42
FIGURA 4. ESTRUCTURA DE MANDANI DEL ÍNDICE DIFUSO DE FACTIBILIDAD DE MODELO DE NEGOCIO.....	44
FIGURA 5. DIAGRAMA METODOLÓGICO PARA TRABAJAR LÓGICA DIFUSA	46
FIGURA 6. GENERACIÓN DE MUESTRAS PARA APRENDIZAJE (LNR) Y PRUEBA (TST).....	60
FIGURA 7. CARACTERÍSTICAS DE LA GENERACIÓN DE MUESTRAS	61
FIGURA 8. DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA EN FISPRO	62
FIGURA 9. SAMPLES LNR (75%) Y TST (25%)	63
FIGURA 10. CARACTERÍSTICAS DEL OPERADOR OLS PARA EL CASO DE ESTUDIO.	64
FIGURA 11. REGLAS FIS PARA EL MODELO DE NEGOCIO DE RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE RS EN LA CIUDAD DE CALI	65
FIGURA 12. COMPACTADOR SENCILLO	87
FIGURA 13. MAQUINA BARREDORA DE CALLES	88
FIGURA 14. ESQUEMA ORGANIZACIONAL GENERAL	92
FIGURA 15. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LAS SUBGERENCIAS	93

1. INTRODUCCIÓN

La generación, recolección y disposición final de residuos sólidos en Cali, Colombia, reflejan una serie de características, cifras y aspectos técnicos que destacan la complejidad de este proceso y los desafíos que enfrenta la ciudad(Mullin et al., 2018). Según datos recientes, Cali produce alrededor de 1.200 toneladas de residuos sólidos diariamente, de las cuales aproximadamente el 60% corresponde a residuos orgánicos y el 40% restante a residuos inorgánicos como plásticos, papel, cartón y vidrio.

En términos de generación, el crecimiento constante de la población y el desarrollo económico han contribuido a un aumento significativo en la cantidad de residuos producidos, lo que ejerce presión sobre el sistema de gestión de residuos existente(Álvarez Díaz et al., 2010). Esta generación significativa de residuos, combinada con la falta de conciencia y prácticas de separación de residuos en la fuente, ha dificultado la implementación efectiva de programas de reciclaje y ha aumentado la carga en los rellenos sanitarios.

Actualmente, la ciudad se enfrenta a desafíos relacionados con la eficiencia operativa y la cobertura de servicios. Aunque la cobertura de recolección de residuos sólidos ha mejorado en los últimos años, aún existen áreas marginadas que no reciben una atención adecuada. Además, la falta de infraestructura adecuada y la planificación deficiente de rutas han contribuido a retrasos en la recolección, lo que resulta en la acumulación de residuos en ciertas zonas y afecta la calidad de vida de los residentes(Álvarez Díaz et al., 2010).

En cuanto a la disposición final, la ciudad depende en gran medida de rellenos sanitarios para la gestión de sus residuos sólidos. Sin embargo, la capacidad de estos rellenos sanitarios está llegando a su límite, lo que plantea preocupaciones sobre la sostenibilidad a largo plazo de esta práctica(Bicknell et al., 1998). A pesar

de los esfuerzos por implementar técnicas de disposición final más sostenibles, como el compostaje y el reciclaje, la infraestructura y las tecnologías necesarias para ello aún no se han implementado a gran escala, lo que limita la capacidad de la ciudad para reducir la cantidad de residuos que llegan a los rellenos sanitarios y para minimizar su impacto ambiental(Bottazzi et al., 2018).

Superar estos desafíos requiere un enfoque integral que incluya la implementación de prácticas de separación de residuos en la fuente, la inversión en infraestructura de gestión de residuos y el fomento de la participación comunitaria en programas de reciclaje y reutilización(Matutinović, 2002). Además, se requiere una planificación de rutas eficiente y el desarrollo de tecnologías sostenibles de disposición final para garantizar una gestión más efectiva y sostenible de los residuos sólidos en la ciudad de Cali.

Por otro lado, la aplicación de la lógica difusa en la creación de un modelo de negocio para la recolección de residuos sólidos en Cali podría implicar el desarrollo de un sistema de gestión inteligente que optimice las rutas de recolección y mejore la eficiencia operativa. Utilizando la lógica difusa, se consideran múltiples variables, como la densidad de población, la ubicación de los contenedores de basura, la demanda de recolección y las condiciones del tráfico, para tomar decisiones basadas en reglas difusas que se adapten a las condiciones variables del entorno. Así, el propósito de este anteproyecto será analizar la factibilidad en la prestación de la recolección de residuos sólidos usando lógica difusa: Caso de estudio EMSIRVA/EMCALI

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Analizar la factibilidad en la prestación de la recolección de residuos sólidos usando lógica difusa: Caso de estudio EMSIRVA/EMCALI

2.2 Objetivos Específicos

1. Definir el modelo de negocio en calidad de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito especial de Santiago de Cali
2. Evaluar la viabilidad técnica y operativa del servicio de recolección de basura en un modelo de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI basado en lógica difusa.
3. Evaluar la aceptación y la viabilidad económica del proyecto entre los diferentes actores involucrados.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Definición del problema

En el contexto de la ciudad de Santiago de Cali, Colombia, el objetivo de analizar la factibilidad en la prestación de la recolección de residuos sólidos mediante el uso de lógica difusa se basa en un problema complejo y multifacético que afecta tanto a la infraestructura de gestión de residuos como al entorno social y ambiental(Zhou & Zhang, 2011). En la actualidad, la ciudad enfrenta desafíos significativos en su capacidad para gestionar de manera efectiva y sostenible la creciente cantidad de residuos generados debido al rápido crecimiento demográfico y al desarrollo urbano en curso.

Uno de los problemas centrales en la gestión de residuos sólidos en Santiago de Cali se relaciona con la deficiente infraestructura de recolección y tratamiento de residuos, lo que conduce a una acumulación excesiva de desechos en áreas urbanas y periurbanas(Grizzetti et al., 2019). La falta de un sistema de recolección eficiente y adecuado resulta en la contaminación ambiental, la proliferación de enfermedades transmitidas por desechos y la degradación del paisaje urbano, lo que afecta negativamente la calidad de vida de los residentes y la imagen general de la ciudad.

Además, la insuficiencia en la planificación de rutas de recolección y en la asignación de recursos adecuados se convierte en un problema crítico que afecta la eficacia operativa y la rentabilidad del sistema de gestión de residuos. La falta de una estrategia integral para optimizar las rutas de recolección y asignar recursos en función de las necesidades cambiantes de la población y las dinámicas urbanas resulta en tiempos de recolección prolongados, ineficiencias en la utilización de

vehículos y recursos, y costos operativos elevados que podrían mitigarse con un enfoque más inteligente y tecnológicamente avanzado.

Otro desafío crucial está relacionado con la falta de conciencia y participación comunitaria en la gestión de residuos sólidos (Borzykowski et al., 2018). La falta de programas efectivos de sensibilización y educación ambiental limita la adopción de prácticas sostenibles de manejo de residuos entre los ciudadanos, lo que a su vez contribuye a un comportamiento inadecuado en la disposición de desechos y a la falta de separación de residuos en la fuente. Este problema, a su vez, obstaculiza los esfuerzos por implementar soluciones integrales y sostenibles, ya que se requiere una colaboración activa de la comunidad para lograr una gestión eficaz y sostenible de los residuos.

Asimismo, la falta de tecnologías y sistemas de información robustos para la recopilación y análisis de datos pertinentes afecta la capacidad de la ciudad para tomar decisiones informadas y estratégicas en materia de gestión de residuos (Andrée et al., 2019). La ausencia de una plataforma centralizada para la recopilación de datos sobre la generación de residuos, la eficiencia del sistema de recolección y la participación comunitaria dificulta la identificación de patrones y tendencias críticas que podrían informar la formulación de políticas efectivas y la implementación de soluciones a largo plazo.

Además, la falta de inversión en tecnologías innovadoras y sostenibles para el tratamiento y la disposición final de residuos sólidos representa un obstáculo significativo para el logro de prácticas de gestión de residuos más ecológicas y rentables. La ausencia de instalaciones modernas para el reciclaje, la recuperación de energía y la eliminación segura de residuos impide la maximización de los recursos y la reducción del impacto ambiental asociado con la disposición final de residuos (Sousa et al., 2019). Esta situación pone en peligro la sostenibilidad ambiental a largo plazo de la ciudad y la salud de sus habitantes.

Finalmente, el problema de la gestión de residuos sólidos en la ciudad de Santiago de Cali se manifiesta a través de la ineficiencia en la infraestructura de recolección y tratamiento de residuos, la falta de planificación de rutas efectiva, la insuficiente participación comunitaria, la falta de sistemas de información adecuados y la escasa inversión en tecnologías sostenibles. Estos problemas interrelacionados generan un impacto negativo en la salud pública, el medio ambiente y el desarrollo sostenible de la ciudad, lo que resalta la urgente necesidad de desarrollar e implementar estrategias integrales y sostenibles de gestión de residuos sólidos que aborden estos desafíos de manera efectiva y holística

3.2 Pregunta de investigación

¿Es factible implementar un sistema de recolección de residuos sólidos basado en lógica difusa en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia, para mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos y minimizar el impacto ambiental en comparación con el sistema de gestión de residuos actual?

3.3 Hipótesis

Se hipotetiza que la implementación de un sistema de recolección de residuos sólidos basado en lógica difusa en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia, conducirá a una mejora significativa en la eficiencia operativa de la gestión de residuos, lo que resultará en una reducción de costos y una disminución del impacto ambiental. Se espera que este sistema optimizado permita una mejor planificación de rutas de recolección, una asignación más efectiva de recursos y una mayor participación comunitaria, lo que en conjunto contribuirá a una gestión más sostenible y eficaz de los residuos sólidos en la ciudad.

3.4 Justificación

El distrito especial se Santiago de Cali es una ciudad ubicada en el departamento del Valle del Cauca, en Colombia. En términos de sus características sociales, económicas y ambientales con relación a la generación y gestión de residuos sólidos, se pueden destacar los siguientes aspectos

3.4.1 Aspectos sociales

Los aspectos sociales en la gestión de residuos sólidos en Cali juegan un papel crucial en la promoción de prácticas sostenibles y en la mejora de la calidad de vida de la comunidad(Pritchard et al., 2019). La participación activa de la sociedad civil es fundamental para fomentar una conciencia ambiental y promover comportamientos responsables en la generación y disposición de residuos. Se requiere una mayor sensibilización para impulsar la separación de residuos en la fuente y promover la adopción de hábitos de consumo más sostenibles(Kangas & Ollikainen, 2019).

Además, la inclusión social en la gestión de residuos implica la creación de oportunidades de empleo y capacitación en el sector de la gestión de residuos, lo que no solo contribuye al desarrollo económico local, sino que también promueve una mayor participación de la comunidad en la implementación de programas de reciclaje y limpieza(Sharma et al., 2019).

La equidad social en la gestión de residuos sólidos implica garantizar una distribución justa y equitativa de los servicios de recolección y disposición final de residuos en todas las áreas de la ciudad, incluidas aquellas comunidades marginadas o de bajos recursos que a menudo enfrentan deficiencias en los servicios básicos(Saavedra Díaz & Perevochtchikova, 2017; Sharma et al., 2019).

Asimismo, la gestión de residuos sólidos debe tener en cuenta los impactos sociales y de salud de la exposición a desechos no tratados. La implementación de medidas de control de contaminación y la promoción de una gestión adecuada de desechos tóxicos son fundamentales para proteger la salud de la población y prevenir enfermedades asociadas con la exposición a residuos contaminantes(Castro & Rojas, 2019).

En resumen, los aspectos sociales en la gestión de residuos sólidos en Cali requieren una perspectiva holística que promueva la participación comunitaria, la equidad en la prestación de servicios, la protección de la salud pública y la creación de oportunidades económicas, con el objetivo de lograr una gestión sostenible y responsable de los residuos sólidos en la ciudad(Machín Hernández et al., 2010).

3.4.2 Aspectos económicos

Los aspectos económicos en la gestión de residuos sólidos en Cali desempeñan un papel fundamental en la sostenibilidad financiera y en la viabilidad a largo plazo de los programas y proyectos relacionados con la gestión de residuos(Dulanto Cuadros, 2000). El manejo eficiente de los recursos financieros es esencial para garantizar la continuidad de los servicios de recolección, tratamiento y disposición final de residuos. Esto implica la necesidad de una asignación presupuestaria adecuada por parte de las autoridades municipales para la operación y mantenimiento de la infraestructura de gestión de residuos y para el desarrollo de programas de educación ambiental y sensibilización comunitaria.

Además, la gestión de residuos sólidos presenta oportunidades económicas en términos de generación de empleo y desarrollo de la economía circular. La implementación de programas de reciclaje y reutilización puede fomentar la creación de empleo en el sector de la gestión de residuos y en la industria del reciclaje, lo que contribuye al crecimiento económico y a la generación de ingresos para las

comunidades locales. Asimismo, la promoción de la economía circular a través de la recuperación de materiales y la valorización de residuos puede reducir los costos de producción para las empresas y fomentar la innovación en el desarrollo de productos y servicios sostenibles(Fomin, 2019).

Por otro lado, la gestión inadecuada de los residuos sólidos puede resultar en altos costos de limpieza y restauración ambiental, así como en pérdidas económicas derivadas de los impactos negativos en el turismo y la calidad de vida de los residentes. La falta de inversión en infraestructura adecuada y en tecnologías sostenibles de gestión de residuos puede generar gastos adicionales a largo plazo y afectar la competitividad y el desarrollo económico de la ciudad(Gómez-Gutiérrez et al., 2016). Por lo tanto, la consideración de los aspectos económicos en la gestión de residuos sólidos en Cali es esencial para promover la eficiencia financiera, fomentar la creación de empleo y estimular el crecimiento económico sostenible

3.4.3 Aspectos ambientales

Los aspectos ambientales en la gestión de residuos sólidos en Cali son de suma importancia debido al impacto que tiene esta gestión en el entorno natural y en la calidad de vida de los habitantes. La ciudad enfrenta desafíos ambientales significativos, incluida la contaminación del suelo, el agua y el aire, causada por la disposición inadecuada de residuos sólidos y la falta de un tratamiento apropiado. Esto puede resultar en la degradación de ecosistemas locales, la pérdida de biodiversidad y la contaminación de fuentes de agua, lo que afecta la salud pública y el equilibrio ecológico(Ortega Márquez & Márquez Fernández, 2017).

La gestión inadecuada de los residuos sólidos también contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero y al cambio climático. La descomposición de residuos orgánicos en rellenos sanitarios genera metano, un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global(Hargreaves et al., 2019). Además, la incineración

de residuos sin tecnologías de control de emisiones adecuadas puede liberar contaminantes atmosféricos nocivos que afectan la calidad del aire y la salud de la población.

Por otro lado, la promoción de prácticas de gestión de residuos sólidos sostenibles y amigables con el medio ambiente puede contribuir a la conservación de recursos naturales y al desarrollo de una economía circular. La implementación de programas de reciclaje y compostaje puede reducir la extracción de recursos naturales, la contaminación y la generación de residuos, al tiempo que promueve la conservación de energía y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

La planificación de infraestructuras de gestión de residuos que incluyan tecnologías avanzadas de tratamiento y disposición final, como la valorización energética y el aprovechamiento de biogás, puede reducir la dependencia de los rellenos sanitarios y mitigar el impacto ambiental asociado con la gestión tradicional de residuos sólidos. En resumen, la consideración de los aspectos ambientales en la gestión de residuos sólidos en Cali es crucial para garantizar la protección y conservación del medio ambiente, así como para promover un desarrollo sostenible y una mejor calidad de vida para los habitantes de la ciudad

4. MARCO TEÓRICO

En la presente propuesta de investigación, se tienen los siguientes conceptos principales:

4.1 Residuos solidos

Los residuos sólidos, en el contexto de la gestión de desechos y la protección ambiental, se refieren a cualquier material, sustancia o producto desechado por las actividades humanas que se considera no deseado, desechado o sin valor inmediato. Estos residuos pueden ser de origen doméstico, comercial, industrial, agrícola, de construcción o de otro tipo, y su composición puede variar significativamente, abarcando desde materiales orgánicos hasta productos químicos tóxicos y materiales reciclables. La clasificación de los residuos sólidos se basa en sus características físicas, químicas y biológicas, así como en su potencial impacto en la salud humana y el medio ambiente.

Los residuos sólidos pueden incluir una amplia gama de materiales, como restos de alimentos, papel, cartón, plásticos, vidrio, metales, textiles, productos electrónicos, materiales de construcción, productos químicos y otros desechos no biodegradables. La gestión adecuada de estos residuos es fundamental para prevenir la contaminación ambiental, proteger la salud pública y promover la sostenibilidad a largo plazo.

La gestión de residuos sólidos implica una serie de etapas y procesos interrelacionados que abarcan desde la generación y la recogida inicial de residuos hasta su tratamiento, transformación y disposición final. La generación de residuos sólidos se produce como resultado de las actividades diarias de producción, consumo y uso de recursos naturales por parte de individuos, hogares, empresas, industrias y otros sectores. Esta generación puede ser tanto planificada, como en el

caso de residuos industriales, como no planificada, como en el caso de residuos domésticos y comerciales.

La recogida de residuos sólidos implica el transporte y la transferencia de los residuos desde los puntos de generación hasta las instalaciones de tratamiento o eliminación final. Este proceso requiere una planificación adecuada de rutas, horarios y equipos de recolección, así como la disponibilidad de infraestructuras de transporte y almacenamiento adecuadas para garantizar una gestión eficiente y oportuna de los residuos.

El tratamiento de residuos sólidos comprende una variedad de procesos y tecnologías diseñados para reducir la cantidad de residuos, recuperar materiales valiosos y minimizar el impacto ambiental de los desechos. Esto incluye actividades como el reciclaje, el compostaje, la incineración, la valorización energética y otros métodos de tratamiento y recuperación de recursos. El reciclaje, por ejemplo, implica la recolección y el procesamiento de materiales reciclables para su reutilización en la fabricación de nuevos productos, lo que ayuda a conservar recursos naturales y reducir la generación de residuos.

El compostaje, por otro lado, implica la descomposición biológica de residuos orgánicos para producir fertilizantes y enmiendas de suelo naturales, lo que contribuye a la mejora de la salud del suelo y la reducción de la contaminación de aguas subterráneas. La incineración y la valorización energética implican la combustión controlada de residuos para la generación de energía, lo que puede ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y a minimizar la acumulación de residuos en los vertederos. Sin embargo, estos métodos también plantean desafíos en términos de emisiones de contaminantes atmosféricos y la gestión adecuada de los subproductos generados.

La disposición final de residuos sólidos se refiere al proceso de eliminación segura y ambientalmente responsable de los residuos que no pueden ser reciclados, reutilizados o tratados de manera apropiada. Esto generalmente implica su almacenamiento en rellenos sanitarios diseñados para evitar la contaminación del suelo y del agua subterránea, así como la propagación de enfermedades. La planificación adecuada y la gestión eficiente de los vertederos son fundamentales para minimizar los riesgos asociados con la disposición final de residuos sólidos y para garantizar la protección a largo plazo del medio ambiente y la salud pública.

4.2 Gobernanza de los servicios públicos

La gobernanza de los servicios públicos es un concepto integral que abarca una serie de estructuras, procesos y mecanismos utilizados para garantizar la prestación eficaz y eficiente de los servicios esenciales para la población. Estos servicios incluyen, entre otros, el suministro de agua, la energía, el transporte, la salud y la educación, que son vitales para el bienestar y el desarrollo sostenible de las comunidades.

La gobernanza de los servicios públicos implica una interacción compleja entre actores gubernamentales y no gubernamentales, instituciones y ciudadanos, con el objetivo de garantizar la rendición de cuentas, la transparencia, la participación democrática y la equidad en la provisión de servicios. Este enfoque se basa en la premisa de que la colaboración y la coordinación entre los diferentes actores son esenciales para superar los desafíos relacionados con la prestación de servicios públicos de calidad y para satisfacer las necesidades cambiantes de la población.

En el contexto de la gobernanza de los servicios públicos, la participación ciudadana desempeña un papel crucial, ya que se considera un elemento central para fortalecer la responsabilidad de los proveedores de servicios y promover la transparencia en la toma de decisiones. La participación ciudadana puede adoptar

diversas formas, como la consulta pública, la coproducción de servicios y la colaboración en la supervisión y evaluación de la calidad de los servicios prestados.

La rendición de cuentas es otro componente fundamental de la gobernanza de los servicios públicos, ya que implica la obligación de los proveedores de servicios de informar de manera transparente y oportuna sobre sus acciones y decisiones, así como de asumir la responsabilidad por los resultados y el impacto de sus iniciativas en la comunidad. La rendición de cuentas promueve la confianza y la legitimidad en el proceso de toma de decisiones y fomenta una mayor responsabilidad en la gestión y la prestación de servicios.

La transparencia también constituye un pilar esencial de la gobernanza de los servicios públicos, ya que implica la divulgación abierta y accesible de información relevante sobre la gestión, la financiación y el desempeño de los servicios públicos. La transparencia contribuye a prevenir la corrupción, a fortalecer la confianza en las instituciones y a empoderar a los ciudadanos para que participen de manera informada en los procesos de toma de decisiones.

Además, la eficiencia y la eficacia en la gestión de los servicios públicos son elementos clave de la gobernanza, ya que se busca garantizar el uso óptimo de los recursos y la prestación oportuna y adecuada de los servicios, de manera que satisfagan las necesidades y demandas de la población. La eficiencia implica la minimización de los costos y la maximización de los resultados, mientras que la eficacia se refiere a la capacidad de los servicios para lograr los objetivos establecidos y producir un impacto positivo en la calidad de vida de los beneficiarios.

Asimismo, la equidad y la inclusión social son principios fundamentales de la gobernanza de los servicios públicos, ya que se busca garantizar un acceso equitativo y no discriminatorio a los servicios esenciales, especialmente para los grupos marginados y vulnerables de la sociedad. La promoción de la igualdad de

género y la protección de los derechos humanos también son aspectos importantes de la gobernanza, ya que se busca eliminar las barreras sociales y culturales que limitan el acceso de ciertos grupos a los servicios básicos.

En este sentido, la gobernanza de los servicios públicos implica el desarrollo de marcos normativos y regulatorios sólidos que establezcan estándares claros de calidad, eficiencia y equidad en la prestación de servicios. Estos marcos regulatorios deben promover la competencia justa, fomentar la innovación y salvaguardar los intereses de los usuarios, al tiempo que crean un entorno propicio para la inversión y el desarrollo de infraestructuras y tecnologías necesarias para mejorar la calidad y la cobertura de los servicios.

Además, la colaboración y la coordinación entre los distintos niveles de gobierno, así como entre el sector público y el privado, son esenciales para garantizar una distribución eficaz de responsabilidades y recursos, y para promover la sinergia en la prestación de servicios en diferentes áreas geográficas y sectores socioeconómicos. La cooperación entre las instituciones también fomenta la compartición de buenas prácticas y el intercambio de conocimientos y experiencias, lo que contribuye a la mejora continua de la calidad y la eficiencia de los servicios públicos.

Así, la gobernanza de los servicios públicos es un enfoque integral y multidimensional que busca promover la participación, la rendición de cuentas, la transparencia, la eficiencia, la equidad y la colaboración en la gestión y la prestación de servicios esenciales para el bienestar y el desarrollo sostenible de la sociedad. Este enfoque resalta la importancia de fortalecer la capacidad institucional y promover una cultura de gobernanza participativa y responsable para garantizar la prestación equitativa y eficaz de los servicios públicos en beneficio de la comunidad en su conjunto.

4.3 Gestión del desarrollo territorial

La Gestión del Desarrollo Territorial se refiere a un enfoque estratégico y participativo para planificar, coordinar y ejecutar acciones que promuevan el desarrollo integral y sostenible de un territorio específico. Este enfoque reconoce la importancia de considerar no solo los aspectos económicos, sino también los sociales, ambientales y culturales al implementar políticas y programas de desarrollo. La gestión del desarrollo territorial busca fortalecer la capacidad de los actores locales para identificar y abordar los desafíos y oportunidades presentes en sus territorios, promoviendo la participación activa de la comunidad en la toma de decisiones y en la implementación de proyectos y programas de desarrollo.

Este enfoque implica la integración de políticas y estrategias que fomenten la equidad, la inclusión social y el empoderamiento de la población local, con el objetivo de reducir las brechas de desarrollo y promover la igualdad de oportunidades para todos los habitantes de un territorio determinado. La gestión del desarrollo territorial busca mejorar la calidad de vida de la población, promoviendo el acceso a servicios básicos, oportunidades laborales, educación, salud y vivienda adecuada.

Además, la gestión del desarrollo territorial busca fomentar la sostenibilidad ambiental, promoviendo prácticas de desarrollo que minimicen el impacto en el medio ambiente y promuevan la conservación de los recursos naturales. Este enfoque considera la importancia de preservar la biodiversidad, mitigar el cambio climático y proteger los ecosistemas locales, promoviendo la adopción de tecnologías limpias y sostenibles y la planificación de políticas de uso del suelo que promuevan el desarrollo sostenible a largo plazo.

La gestión del desarrollo territorial también implica el fortalecimiento de las capacidades institucionales y la promoción de la gobernanza participativa y

transparente, promoviendo la colaboración entre los gobiernos locales, la sociedad civil, el sector privado y otros actores relevantes. Este enfoque busca mejorar la eficiencia y eficacia de las políticas y programas de desarrollo, promoviendo la rendición de cuentas y la transparencia en la asignación de recursos y la implementación de proyectos.

Así, la gestión del desarrollo territorial se centra en promover un desarrollo equitativo, inclusivo y sostenible que mejore la calidad de vida de la población, proteja el medio ambiente y promueva la participación activa de la comunidad en la toma de decisiones. Este enfoque integral y participativo busca fortalecer las capacidades locales y promover la colaboración entre los distintos actores, con el fin de construir territorios más prósperos, equitativos y sostenibles para las generaciones presentes y futuras

4.4 Lógica difusa

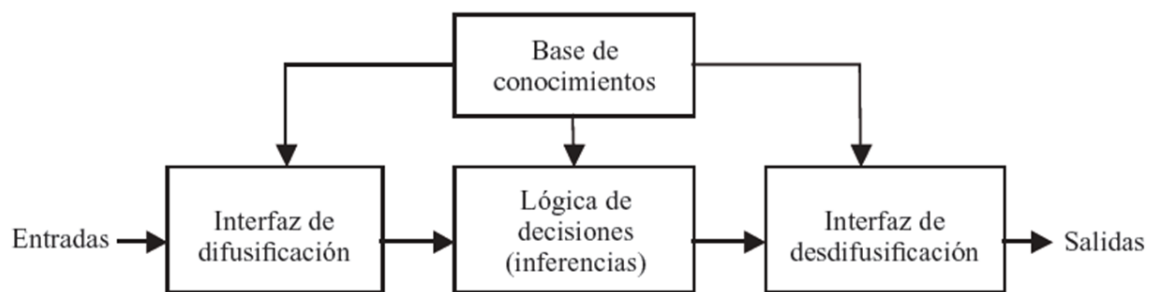
La lógica difusa, también conocida como "Fuzzy Logic" en inglés(*Garry Kasparov Had a Chess Showdown with IBM's AI Long before ChatGPT - The Washington Post*, n.d.), es un enfoque lógico que permite el manejo de la incertidumbre y la imprecisión en la toma de decisiones y en el razonamiento basado en reglas. A diferencia de la lógica clásica, que opera en un marco binario de verdadero o falso, la lógica difusa permite el uso de valores intermedios que representan grados de verdad y falsedad(Osna et al., n.d.).

Este concepto se basa en la idea de que muchos fenómenos en el mundo real son inherentemente imprecisos y ambiguos, y no se pueden categorizar de manera estricta como verdaderos o falsos(Mullin et al., 2018). La lógica difusa utiliza conjuntos difusos, que son conjuntos que permiten la inclusión parcial de un elemento en función de su grado de pertenencia, lo que permite la representación

de grados de verdad difusos o variables lingüísticas imprecisas(Guillaume & Charnomordic, 2011).

La lógica difusa se aplica en una variedad de campos, como la inteligencia artificial, los sistemas de control, la toma de decisiones, la robótica y otras áreas en las que la imprecisión y la incertidumbre son elementos clave a considerar(Guillaume & Charnomordic, n.d.). Se utiliza para modelar y simular sistemas complejos que involucran variables que no pueden ser perfectamente definidas o medidas con precisión, permitiendo así un enfoque más flexible y adaptable en el análisis y la toma de decisiones (ver Figura 1).

Figura 1. Esquema básico de un controlador difuso



Además, la lógica difusa se basa en el principio de la inferencia difusa, que implica el uso de reglas lingüísticas y operadores de lógica difusa para derivar conclusiones difusas a partir de premisas difusas(Bockstaller et al., 2017). Esto permite la construcción de sistemas de control y toma de decisiones que pueden manejar la imprecisión y la variabilidad en los datos de entrada, lo que los hace más robustos y adaptables a entornos complejos y cambiantes(De Pilli, 2021).

En términos generales, la lógica difusa es un enfoque lógico que permite el tratamiento de la imprecisión y la incertidumbre en el razonamiento y la toma de decisiones(Rajaram & Das, n.d.). Al utilizar conjuntos difusos y operadores de lógica

difusa, este enfoque proporciona una herramienta poderosa para modelar y controlar sistemas complejos en los que las variables involucradas no pueden ser perfectamente definidas o medidas con precisión. Su flexibilidad y adaptabilidad lo hacen especialmente útil en situaciones donde la precisión absoluta no es factible o donde se requiere un razonamiento más flexible y tolerante a la ambigüedad.

4.5 Gestión de multiservicios

La Gestión de Multiservicios se refiere a un enfoque integral y coordinado para la administración y prestación eficiente de una amplia gama de servicios y actividades en diversos sectores o áreas de una organización o comunidad. Este enfoque implica la planificación, coordinación y supervisión de múltiples servicios, con el objetivo de optimizar recursos, mejorar la eficiencia operativa y garantizar la satisfacción de las necesidades y expectativas de los usuarios finales.

La Gestión de Multiservicios se basa en la integración de procesos, tecnologías y recursos humanos, con el fin de ofrecer una amplia gama de servicios de manera integrada y coordinada, promoviendo la sinergia entre diferentes áreas funcionales y departamentos. Este enfoque busca simplificar y agilizar la prestación de servicios, minimizando la duplicación de esfuerzos y recursos, y promoviendo la estandarización de procesos y prácticas para garantizar la consistencia y calidad en la entrega de servicios.

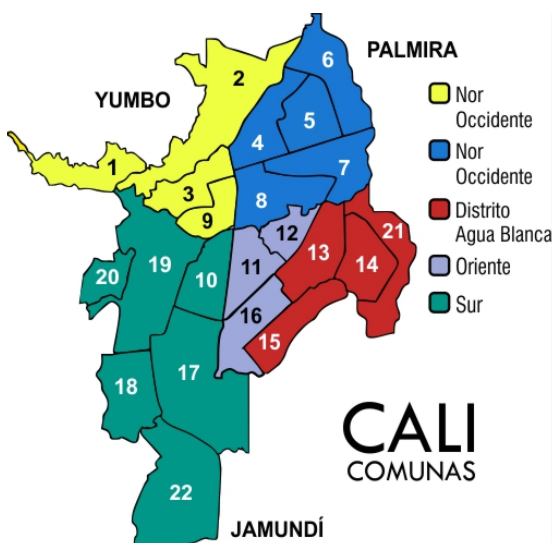
Además, la Gestión de Multiservicios promueve la adopción de enfoques centrados en el cliente, fomentando la personalización y adaptabilidad de los servicios en función de las necesidades y preferencias específicas de los usuarios. Este enfoque también busca fomentar la innovación y la mejora continua, impulsando la implementación de prácticas y tecnologías avanzadas que optimicen la experiencia del usuario y promuevan la eficiencia operativa en la prestación de servicios múltiples.

5 ANTECEDENTES

5.1 Área de estudio

Cali, la tercera ciudad más grande de Colombia, abarca un área de aproximadamente 619 kilómetros cuadrados y alberga una población de alrededor de 2.5 millones de habitantes. Sus principales características económicas se centran en la industria manufacturera, la agricultura, el turismo y los servicios (ver Figura 2) La gestión de residuos sólidos enfrenta desafíos significativos debido a la rápida urbanización, la generación creciente de desechos y la necesidad de infraestructuras eficientes. La promoción de la economía circular y la sensibilización comunitaria son elementos clave para abordar la gestión de residuos en Cali.

Figura 2. Mapa de comunas de Cali



Nota. Tomado de [Mapa Cali Comunas y Barrios | PDF \(scribd.com\)](#), 2024.

Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia, el municipio de Yumbo tiene una extensión total de 110.33 km². Sin embargo, no se dispone de información específica sobre el área exacta que corresponde a la zona rural de Yumbo, la cual

se estima que equivale al 44% del territorio municipal, es decir, aproximadamente 48.53 km². Como referencia, se puede indicar que la mayor parte del territorio del municipio está constituido por áreas rurales, con algunas zonas urbanas en el centro del casco urbano y en algunos corregimientos cercanos (Gómez-Gutiérrez et al., 2016).

5.2 EMCALI

EMCALI, Empresa de Servicios Públicos de la ciudad de Cali, es una empresa estatal colombiana que opera en la ciudad de Cali, Valle del Cauca. La historia de EMCALI se remonta a 1995, cuando se creó como una empresa de servicios públicos encargada de la prestación de servicios de energía, agua, alcantarillado y telecomunicaciones en la región. A lo largo de los años, EMCALI ha enfrentado diversos desafíos financieros y operativos, y ha atravesado procesos de reestructuración y modernización para mejorar su eficiencia y calidad de servicio.

En sus primeros años, EMCALI se destacó por su importante papel en el desarrollo de infraestructuras de telecomunicaciones y servicios de electricidad y agua en la región. Sin embargo, a medida que avanzaba el tiempo, la empresa enfrentó problemas financieros y de gestión que afectaron su capacidad para mantener la calidad y la continuidad de sus servicios.

En la década de 2000, EMCALI inició un proceso de reestructuración y modernización con el objetivo de mejorar su eficiencia y competitividad en el mercado de las telecomunicaciones. La empresa implementó medidas para reducir costos, mejorar la gestión y la calidad del servicio, y fortalecer su posición en un entorno empresarial cada vez más competitivo y dinámico.

A lo largo de los años, EMCALI ha seguido expandiendo y mejorando sus servicios de telecomunicaciones, incluyendo telefonía fija, móvil, internet y televisión,

adaptándose a los avances tecnológicos y a las demandas cambiantes de sus usuarios. La empresa ha trabajado en la modernización de sus redes y en la implementación de tecnologías innovadoras para ofrecer servicios de alta calidad y mejorar la experiencia del cliente.

Sin embargo, a pesar de sus esfuerzos de modernización, EMCALI ha enfrentado críticas y desafíos persistentes en relación con la calidad de sus servicios y su estabilidad financiera. La empresa ha buscado reforzar su posición en el mercado y recuperar la confianza de sus usuarios a través de inversiones estratégicas, mejoras en la gestión y la prestación de servicios de alta calidad y confiabilidad.

En la actualidad, EMCALI continúa desempeñando un papel crucial en la provisión de servicios públicos y de telecomunicaciones en la región de Cali, trabajando para mejorar su desempeño y su posición en el mercado, y para cumplir con las demandas y expectativas de sus usuarios en un entorno empresarial cada vez más competitivo y exigente.

6 MARCO NORMATIVO

A continuación, se presenta el marco normativo en el contexto colombiano para abordar el análisis de factibilidad de un modelo de negocio de retoma para la gestión de residuos sólidos en Colombia.

La Constitución Política de Colombia de 1991 establece los principios fundamentales del país y los derechos y deberes de sus ciudadanos. En el contexto del modelo de negocio de recolección de residuos sólidos, algunos de los principales artículos que pueden ser relevantes incluyen:

Artículo 79: Reconoce el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y a preservar la diversidad e integridad del ambiente.

Artículo 95: Establece los deberes de las personas y los ciudadanos, entre los cuales se incluye el deber de proteger los recursos culturales y naturales de la Nación.

Artículo 333: Reconoce la iniciativa privada como un derecho y, al mismo tiempo, la sujeta a responsabilidades que busquen el bienestar general. Esto podría relacionarse con el modelo de negocio de recolección de residuos sólidos como una actividad que contribuye al bienestar general y al cuidado del medio ambiente.

Artículo 334: Delega al legislador la facultad de intervenir en la economía para racionalizarla con el fin de conseguir el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.

Artículo 366: Establece la responsabilidad del Estado de intervenir para preservar la integridad del espacio público y garantizar su utilización por parte de todos.

Por otro lado, hay varias leyes y normativas que regulan el manejo de residuos sólidos y que son relevantes para el modelo de negocio de recolección de estos residuos. Algunas de las principales leyes incluyen:

Ley 1259 de 2008: Esta ley establece normas para la gestión integral de los residuos eléctricos y electrónicos, definiendo responsabilidades para los productores, importadores y distribuidores de estos equipos en el manejo de sus residuos.

Ley 99 de 1993: Establece las normas para el manejo de los recursos naturales y del medio ambiente, incluyendo disposiciones relacionadas con la gestión de residuos sólidos.

Ley 142 de 1994: Regula los servicios públicos domiciliarios en Colombia, incluyendo el servicio de aseo o recolección de residuos sólidos.

Ley 1715 de 2014: Esta ley busca promover la gestión integral de los residuos sólidos peligrosos y establece responsabilidades para su generación, manejo y disposición final.

Ley 1333 de 2009: Define el régimen sancionatorio ambiental y establece las infracciones y sanciones aplicables por incumplimientos en materia ambiental, incluyendo aquellas relacionadas con la gestión inadecuada de residuos.

Decreto 1076 de 2015: Adopta el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y establece normas para la gestión integral de residuos sólidos, incluyendo disposiciones sobre su clasificación, recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final.

Resolución 0752 de 2019: Establece los criterios para la clasificación de los residuos generados en el marco de la gestión integral de residuos sólidos.

Finalmente, algunos decretos en Colombia que están relacionados con el modelo de negocio de recolección de residuos sólidos:

Decreto 2981 de 2013: Reglamenta el manejo ambientalmente adecuado de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en el territorio colombiano.

Decreto 1076 de 2015 - Parte 2, Libro 2, Título 2, Capítulo 2: Este decreto establece disposiciones específicas relacionadas con la gestión integral de los residuos sólidos. Incluye normas para la clasificación, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de estos residuos.

Decreto 780 de 2016: Reglamenta la clasificación de los residuos generados en el marco de la gestión integral de residuos sólidos, estableciendo los criterios y la metodología para dicha clasificación.

Decreto 1074 de 2015 - Artículo 2.2.2.2.4.12: Este decreto regula las obligaciones relacionadas con la gestión de residuos de construcción y demolición, estableciendo las responsabilidades de quienes generan, transportan y reciben estos residuos.

Decreto 1955 de 2017: Regula la gestión integral de residuos peligrosos y establece los requisitos para el manejo de estos residuos desde su generación hasta su disposición final.

7 METODOLOGÍA

Para desarrollar la presente investigación se implementará la estructura de marco lógico, en donde se proponen una serie de actividades e indicadores de desempeño para cada uno de los objetivos específicos:

7.1 Definir el modelo de negocio en calidad de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito especial de Santiago de Cali

La gestión eficiente de residuos sólidos es un componente crucial para el bienestar de una comunidad y la preservación del medio ambiente. En este contexto, EMSIRVA, la empresa municipal de servicios públicos de EMCALI, se propone definir un modelo de negocio sólido y sostenible para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito especial de Santiago de Cali, para lo cual se proyectan las siguientes actividades:

7.1.1 Análisis del Contexto y Normativas

Antes de definir el modelo de negocio, se realizará un exhaustivo análisis del contexto local, considerando la densidad poblacional, características geográficas, zonas críticas de generación de residuos y normativas ambientales vigentes. Este análisis permitirá adaptar el modelo a las necesidades específicas de la comunidad y garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

7.1.2 Identificación de Segmentos de Clientes

Se llevará a cabo una segmentación detallada de los clientes, considerando factores como la ubicación geográfica, tipo de residencia (residencial, comercial, industrial), y volumen de generación de residuos. Esta segmentación facilitará la personalización de los servicios, optimizando la eficiencia operativa y mejorando la satisfacción del cliente.

7.1.3 Diseño de la Infraestructura Operativa

Se desarrollará un plan detallado para la infraestructura operativa, abordando aspectos como la flota de vehículos, la frecuencia de recolección, la gestión de rutas y la implementación de tecnologías avanzadas para monitoreo y optimización. La infraestructura deberá ser flexible para adaptarse a cambios en la demanda y garantizar una respuesta ágil ante eventos especiales o emergencias (ver Tabla 1).

Tabla 1. Capacidad Operativa y Cantidad de Operarios

Vehiculos	Operador				Total
	PromoCali	Veolia	PromoValle	Ciudad Limpia	
Compactador 16y ³	0	22	0	6	28
Compactador 17y ³	2	0	4	0	6
Compactador 20y ³	11	0	13	0	24
Compactador 25y ³	10	6	8	13	37
Compactador 28y ⁴	0	2	0	0	2
Volqueta 8.5 m ³	0	2	0	0	2
Volqueta 11 m ³	2	0	2	0	4
Volqueta 18 m ³	0	0	3	0	3
Ampliroll 15y ³	2	0	0	0	2
Ampliroll 16,8y ³	0	1	0	0	1
Ampliroll 17y ³	0	0	0	2	2
Ampliroll 21y ³	3	0	2	0	5
Furgón	3	0	0	0	3
Vehículo satélite 2 y ³	0	0	0	12	12
Barredora	1	3	1	4	9
Minicargador	1	2	2	2	7
Total	35	38	35	39	147

Nota. Tomado de: *ENSIRVA en liquidación, 2021*.

7.1.4 Implementación de Tecnologías Innovadoras

La integración de tecnologías innovadoras, como sistemas de seguimiento por GPS, sensores de llenado de contenedores y plataformas digitales para la gestión de solicitudes y reportes, permitirá una operación más eficiente y transparente. Estas herramientas también facilitarán la comunicación con los ciudadanos, fomentando la participación activa en la gestión de residuos.

7.1.5 Desarrollo de Estrategias de Sensibilización

Se diseñarán estrategias de sensibilización y educación ambiental dirigidas tanto a la comunidad como a los generadores de residuos. Esto incluirá campañas de concientización sobre la separación adecuada de residuos, la reducción de desechos y la importancia de la participación ciudadana en la gestión sostenible de residuos.

7.1.6 Establecimiento de Alianzas Estratégicas

EMSIRVA buscará establecer alianzas estratégicas con entidades educativas, empresas locales y organizaciones no gubernamentales. Estas alianzas pueden impulsar programas de reciclaje, proyectos de economía circular y otras iniciativas que fortalezcan la sostenibilidad del modelo de negocio y generen impactos positivos en la comunidad.

7.1.7 Monitoreo y Evaluación Continua

Se implementará un sistema de monitoreo continuo para evaluar el desempeño del modelo de negocio. Esto incluirá indicadores clave de rendimiento, encuestas de satisfacción del cliente y revisiones periódicas de la eficiencia operativa. Los resultados obtenidos se utilizarán para ajustar y mejorar constantemente el modelo,

asegurando su adaptabilidad a cambios en la demanda y las condiciones del entorno.

7.2. Evaluar la viabilidad técnica y operativa del servicio de recolección de basura en un modelo de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI basado en lógica difusa

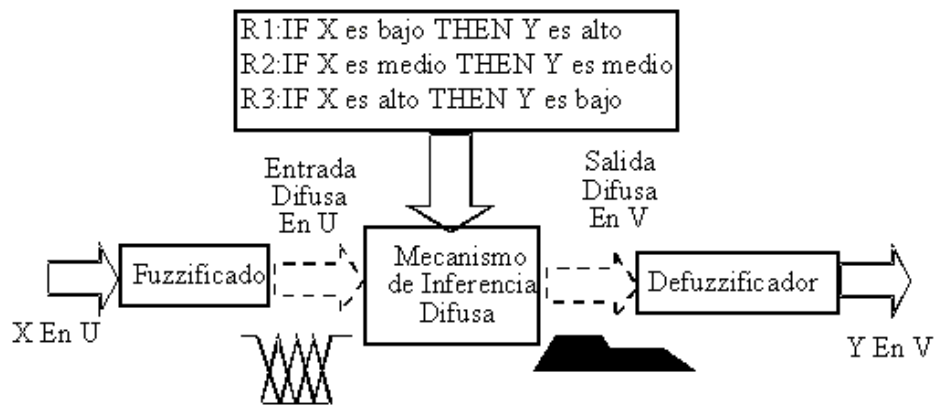
EMSIRVA, en colaboración con EMCALI, busca evaluar la viabilidad técnica y operativa de implementar un modelo de retoma en el servicio de recolección de basura, utilizando la lógica difusa como herramienta innovadora. Este enfoque pretende mejorar la eficiencia y adaptabilidad del servicio a las complejidades cambiantes del entorno. A continuación, se detallan las actividades clave para cumplir con este objetivo.

7.2.1 Identificación de Variables Relevantes

Se llevará a cabo una exhaustiva identificación de variables que afectan la eficiencia operativa en la recolección de basura. Estas variables pueden incluir factores climáticos, patrones de generación de residuos, eventos especiales, entre otros. La lógica difusa se basa en la definición de variables lingüísticas, lo que requiere una comprensión detallada de los factores que influyen en la operación.

Por otro lado, un sistema de lógica difusa de Mandani se utiliza para modelar situaciones donde las variables de entrada y salida no tienen una relación clara y precisa (ver figura 3).

Figura 3. Arquitectura básica del modelo Mandani



Nota. Adaptado de *Modelo Cognitivo de Evaluación con justicia a los estudiantes basado en lógica difusa*, de Peña G & Linares E, 2020, [hoc5c9Articulo3vol14num12020.pdf \(uvm.edu.ve\)](https://www.uvm.edu.ve/hoc5c9Articulo3vol14num12020.pdf).

En el contexto de analizar la factibilidad en la prestación de la recolección de residuos sólidos en la ciudad de Santiago de Cali, las variables de entrada para un sistema de lógica difusa pueden incluir:

1. Volumen de Residuos Sólidos:

Descripción: Representa la cantidad total de residuos sólidos generados en la ciudad.

Valores lingüísticos: Bajo, Medio, Alto.

2. Densidad Poblacional:

Descripción: La cantidad de personas por área en la ciudad.

Valores lingüísticos: Baja, Media, Alta.

Características Geográficas:

Descripción: Factores como la topografía, la distribución de zonas urbanas y rurales, que pueden afectar la eficiencia de la recolección.

Valores lingüísticos: Plana, Irregular, Montañosa.

3. Condiciones Climáticas:

Descripción: El clima en la ciudad, ya que las condiciones climáticas pueden afectar la frecuencia y eficacia de la recolección.

Valores lingüísticos: Seco, Húmedo, Lluvioso.

4. Infraestructura de Recolección Existente:

Descripción: La calidad y capacidad de la infraestructura de recolección actual en la ciudad.

Valores lingüísticos: Baja, Media, Alta.

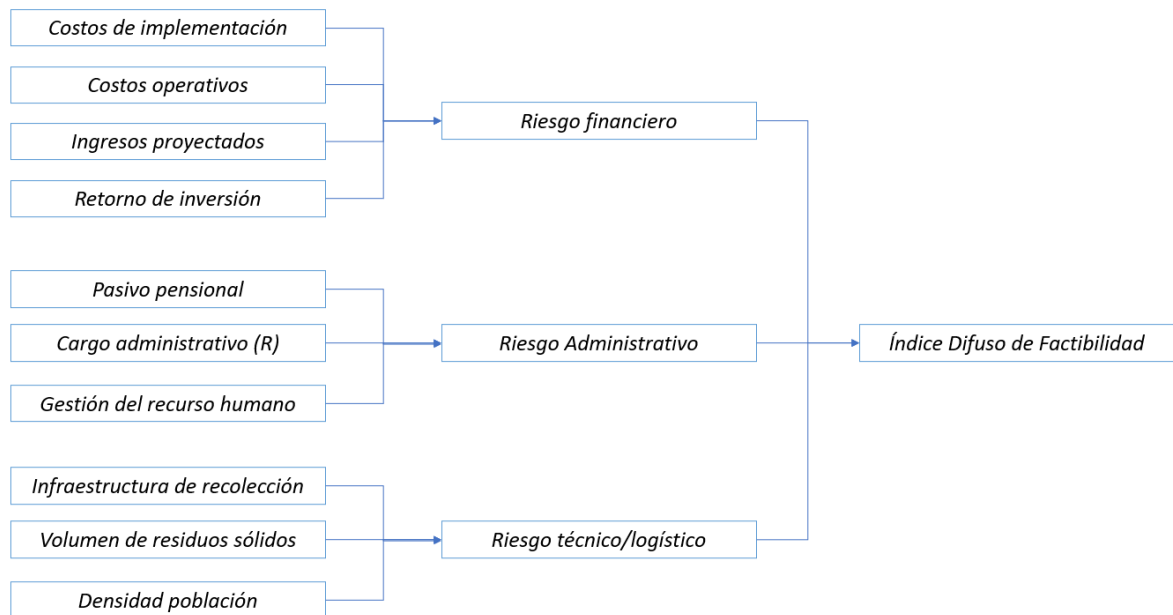
5. Nivel de Conciencia Ambiental:

Descripción: La disposición de la población a participar en prácticas de gestión de residuos sostenibles.

Valores lingüísticos: Bajo, Medio, Alto.

Todas estas variables se relacionan en una estructura de Mandani cuyo propósito es estimar la factibilidad del modelo de retoma del modelo de negocio de recolección de residuos sólidos en Cali; dicha estructura se presenta en la Figura 4.

Figura 4. Estructura de Mandani del índice difuso de factibilidad de modelo de negocio



Nota. Elaboración propia, 2024.

La estructura de Mandani es un enfoque dentro de la lógica difusa que se utiliza para modelar la incertidumbre y la imprecisión en los sistemas. Se basa en la teoría de conjuntos difusos, donde los valores de verdad de las proposiciones pueden ser cualquier número real entre 0 y 1. La lógica difusa permite manejar la ambigüedad inherente a muchas situaciones del mundo real.

En el contexto de la estimación de la factibilidad de un modelo de negocio de recolección de residuos sólidos en Cali, la estructura de Mandani sería aplicada para representar y evaluar la información difusa relacionada con factores clave, como la demanda de servicios, la disponibilidad de recursos, las condiciones del mercado y las restricciones operativas. Se utilizarían conjuntos difusos para describir conceptos como "alta demanda", "recursos limitados", etc.

La lógica difusa permitiría integrar estos factores de manera más realista y flexible que los enfoques tradicionales, que a menudo trabajan con valores binarios o deterministas. Al emplear la estructura de Mandani, se podrían realizar evaluaciones más adaptativas y precisas, considerando la naturaleza incierta de los datos y condiciones del entorno empresarial. Esto facilitaría la toma de decisiones informada para la planificación y ejecución del modelo de recolección de residuos sólidos en Cali, mejorando la capacidad de anticipar y responder a las variaciones en el entorno operativo.

7.2.2 Diseño del Sistema de Lógica Difusa

Con las variables identificadas, se procederá al diseño del sistema de lógica difusa. Esto implica la creación de conjuntos difusos, reglas y funciones de pertenencia que modelen la relación entre las variables. Se explorarán técnicas avanzadas de lógica difusa para adaptarse a la complejidad de las interacciones entre las variables y permitir una toma de decisiones más precisa.

Matemáticamente, un conjunto difuso A en un universo X está definido por una función de pertenencia $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$, donde $\mu_A(x)$ representa el grado de pertenencia del elemento x al conjunto A (Zimmermann, 1996).

Por otro lado, Las reglas de inferencia son componentes fundamentales en los sistemas de lógica difusa, utilizadas para modelar el razonamiento humano y la toma de decisiones en presencia de incertidumbre. Estas reglas permiten derivar conclusiones a partir de un conjunto de premisas utilizando operadores lógicos difusos.

En términos generales, una regla de inferencia difusa puede expresarse en la forma:

Si A es X y B es Y , entonces C es Z

Donde A, B y C son variables lingüísticas, y X, Y y Z son conjuntos difusos. La regla se aplica utilizando la función de pertenencia de los conjuntos difusos involucrados, y la inferencia se realiza mediante métodos como el de Mamdani o el de Sugeno (Mamdani & Assilian, 1975; Sugeno, 1985).

En la Figura 5 se presenta un diagrama metodológico que se utilizó para calcular el índice difuso de factibilidad. Este diagrama ilustra los pasos clave del proceso que se va a desarrollar más adelante.

Figura 5. Diagrama metodológico para trabajar lógica difusa



Nota. Elaboración propia, 2024.

El modelo de lógica difusa se utilizó para este estudio por varias razones específicas que lo hacen particularmente adecuado para encontrar el índice Difuso de Factibilidad. Estas razones incluyen:

1. **Manejo de Incertidumbre y Ambigüedad:** La lógica difusa es especialmente efectiva para manejar datos imprecisos y ambiguos, permitiendo modelar situaciones donde la información es incompleta o inexacta.
2. **Flexibilidad:** La lógica difusa permite la creación de reglas basadas en el conocimiento experto y en observaciones prácticas, lo cual es útil en contextos donde los datos no son perfectamente cuantificables. Esta flexibilidad facilita la integración de diferentes tipos de información como se tiene para el índice de Factibilidad.
3. **Capacidad de Modelar Comportamientos Complejos:** La lógica difusa permite capturar y modelar estas complejidades de manera más efectiva que los modelos tradicionales, que a menudo requieren supuestos simplificadores.
4. **Adaptabilidad a Cambios:** La lógica difusa puede adaptarse fácilmente a cambios en los datos o en las condiciones del entorno. Esto es crucial en el ámbito de la gestión de residuos, donde las políticas, las tecnologías y los comportamientos pueden cambiar con el tiempo.

7.2.3 Recopilación de Datos Históricos

Se recopilarán datos históricos sobre la generación de residuos, patrones de recolección y otros factores relevantes. Estos datos serán fundamentales para calibrar y validar el modelo de lógica difusa. La precisión del modelo dependerá en gran medida de la calidad y cantidad de datos disponibles, por lo que se realizará un esfuerzo significativo en esta etapa. Sin embargo, es importante considerar las posibles limitaciones del estudio. En primer lugar, las restricciones de tiempo

pueden limitar la cantidad de datos que se pueden recopilar y analizar exhaustivamente, lo que podría llevar a una menor precisión en el modelo. Además, el acceso a datos específicos podría ser limitado debido a problemas de confidencialidad, disponibilidad de registros históricos incompletos o inconsistencias en los datos recopilados de diferentes fuentes.

Otra posible limitación es la variabilidad en los datos, que puede deberse a cambios en las políticas de gestión de residuos, fluctuaciones estacionales en la generación de residuos, pueden distorsionar los patrones normales de generación y recolección de residuos. Además, el modelo de lógica difusa puede ser sensible a los supuestos y parámetros iniciales utilizados, lo que podría introducir incertidumbres adicionales en los resultados. Por último, estas limitaciones deben ser cuidadosamente consideradas al interpretar los resultados del estudio y al formular recomendaciones basadas en el modelo desarrollado.

7.2.4 Implementación del Modelo en un Entorno de Prueba

Se implementará el modelo de lógica difusa en un entorno de prueba, utilizando datos históricos y simulaciones de escenarios futuros. Esta fase permitirá evaluar la capacidad del modelo para adaptarse a situaciones variables y mejorar la toma de decisiones en tiempo real. Se realizarán ajustes según sea necesario para optimizar el rendimiento del modelo.

7.2.5 Evaluación de Resultados y Ajustes Continuos

Se llevará a cabo una evaluación exhaustiva de los resultados obtenidos mediante la implementación del modelo en un entorno real. Se compararán los resultados predichos por la lógica difusa con los datos reales de la operación. Los ajustes necesarios se realizarán de manera continua para garantizar la precisión y eficacia del modelo a lo largo del tiempo.

7.3 Evaluar la aceptación y la viabilidad económica de proyecto entre los diferentes actores involucrados

El éxito de cualquier proyecto, especialmente aquellos que involucran cambios significativos como la implementación de la lógica difusa en la recolección de basura, depende en gran medida de la aceptación y viabilidad económica entre los actores clave. EMSIRVA/EMCALI se propone realizar una evaluación exhaustiva de estos aspectos para garantizar el respaldo tanto de la comunidad como de los stakeholders económicos. A continuación, se detallan las actividades clave para cumplir con este objetivo.

7.3.1 Identificación de Actores Clave

Se llevará a cabo una identificación detallada de los actores clave, que incluyen a la comunidad local, autoridades gubernamentales, empresas privadas, y otras partes interesadas. Este análisis ayudará a entender sus expectativas, preocupaciones y perspectivas sobre el cambio propuesto en el modelo de recolección de basura.

7.3.2 Diseño de Estrategias de Comunicación

Se desarrollarán estrategias de comunicación efectivas para informar a los actores clave sobre el nuevo modelo basado en lógica difusa. Estas estrategias deben destacar los beneficios medioambientales, la mejora en la eficiencia operativa, y la contribución a la sostenibilidad. Además, se abordarán las posibles inquietudes y se fomentará la participación activa en el proceso.

7.3.3 Realización de Sesiones de Capacitación

Se llevarán a cabo sesiones de capacitación para diversos grupos, incluyendo el personal operativo, autoridades locales y la comunidad en general. Estas sesiones explicarán detalladamente cómo funciona la lógica difusa en la recolección de basura, destacando sus ventajas y respondiendo a preguntas para disipar posibles resistencias.

7.3.4 Análisis de Impacto Socioeconómico

Se llevará a cabo un análisis detallado del impacto socioeconómico del nuevo modelo. Esto incluirá la evaluación de beneficios tangibles e intangibles, como la reducción de emisiones, la creación de empleo, y la mejora en la calidad de vida. Presentar estos resultados de manera clara contribuirá a la aceptación del proyecto.

7.3.5 Negociación y Acuerdos con Stakeholders Económicos

EMSIRVA/EMCALI buscará establecer negociaciones y acuerdos con stakeholders económicos, como empresas privadas y posiblemente inversionistas. Estos acuerdos pueden incluir asociaciones público-privadas que compartan la inversión y distribuyan los riesgos financieros, fortaleciendo así la viabilidad económica del proyecto

7.3.6 Desarrollo de Modelos de Financiamiento Sostenible

Se desarrollarán modelos de financiamiento sostenible que garanticen la continuidad operativa del nuevo modelo. Esto puede incluir la exploración de tarifas escalonadas, incentivos fiscales, y otras estrategias financieras que aseguren la viabilidad económica a largo plazo sin imponer una carga excesiva a la comunidad.

8.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados encontrados por cada uno de los objetivos específicos planteado.

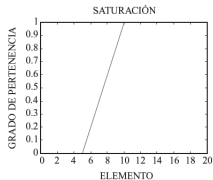
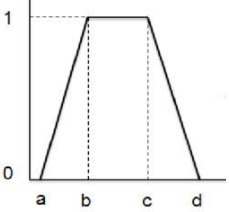
8.1 Resultado objetivo específico I: Definir el modelo de negocio en calidad de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito especial de Santiago de Cali

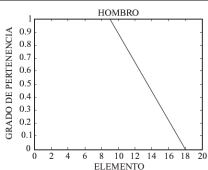
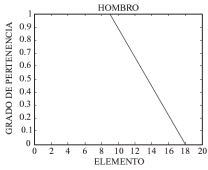
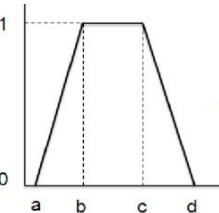
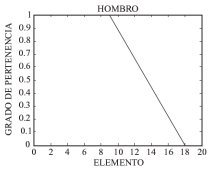
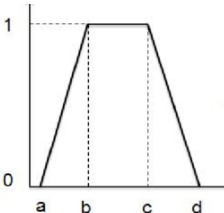
8.1.1 Modelo de Evaluación Difusa

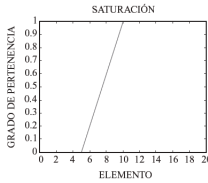
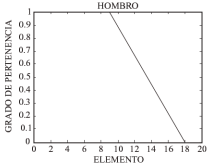
Se estableció un modelo de evaluación basado en lógica difusa que permita representar y gestionar la incertidumbre y la imprecisión inherente a la prestación de servicios de recolección de residuos sólidos. A partir de esto, fue necesario la identificación y definición de variables clave que afectan la factibilidad del servicio, como la demanda, la disponibilidad de recursos, las condiciones del mercado y las restricciones operativas.

Así, a partir de la revisión de la literatura, se definieron las funciones de pertenencia para cada una de las variables de entrada (ver Tabla 2) de la Fase 1, de acuerdo a la estructura de Mandani definida en la Figura 4.

Tabla 2. Funciones de pertenencia

Variable	Función de pertenencia	Descripción de la variable
<i>Costos de implementación</i>	Función de saturación 	Los costos de implementación en un modelo de negocio de recolección de residuos sólidos urbanos incluyen gastos asociados con la adquisición de equipos de recolección, capacitación del personal, infraestructura de almacenamiento y transporte, así como los costos administrativos y legales para el establecimiento y operación del servicio.
<i>Costos operativos</i>	Función de saturación 	Abarcan los gastos continuos relacionados con la operación diaria, como el mantenimiento de vehículos, combustible, salarios del personal, costos de disposición final, reparaciones de equipo y cualquier otro gasto recurrente necesario para mantener el servicio en funcionamiento.
<i>Ingresos proyectados</i>	Función trapezoidal 	Representan las estimaciones financieras de los ingresos generados por la prestación del servicio, que incluyen tarifas de recolección, ingresos por la venta de materiales reciclables, contratos con municipios u otras entidades, y potenciales ingresos por servicios adicionales ofrecidos.
<i>Retorno de la inversión</i>	Función hombro	Es la medida que evalúa la rentabilidad del capital invertido. Se calcula comparando los beneficios obtenidos, como ingresos por servicios y ahorros operativos, con los costos de

		inversión inicial y operativos a lo largo del tiempo.
<i>Pasivo pensional</i>	Función hombro 	Representa las obligaciones futuras de la empresa relacionadas con los beneficios de pensión y jubilación para su personal. Incluye los pagos futuros estimados a empleados actuales y pasados, así como cualquier obligación adicional asociada con los beneficios de jubilación.
<i>Cargo administrativo</i>	Función trapezoidal 	Son los costos asociados con la gestión y supervisión de las operaciones. Incluyen salarios de personal administrativo, gastos de oficina, tecnología de información, servicios profesionales, y otros costos relacionados con la administración y la dirección estratégica del negocio.
<i>Gestión del recurso humano</i>	Función hombro 	Se refiere a las estrategias y prácticas para reclutar, capacitar, motivar y retener al personal. Incluye la planificación de la fuerza laboral, la seguridad en el trabajo, el desarrollo profesional y la gestión de conflictos laborales.
<i>Infraestructura de recolección</i>	Función trapezoidal 	Comprende los recursos físicos necesarios, como vehículos especializados, contenedores de almacenamiento, estaciones de transferencia y sistemas de gestión de rutas. Facilita la eficiente recolección,

		transporte y manejo inicial de los residuos urbanos.
<i>Volumen de residuos sólidos</i>	Función de saturación 	Es la cantidad total de desechos generados en un área específica durante un período de tiempo determinado. Este factor influye en la planificación de rutas, capacidad de recolección y necesidades de infraestructura.
<i>Densidad poblacional</i>	Función hombro 	Indica la cantidad de personas que residen en un área específica. Este factor es crucial para determinar la cantidad y la frecuencia de la recolección de residuos, así como la planificación de rutas y la asignación de recursos.

Nota. Elaboración propia, 2024.

En un modelo de lógica difusa, estas variables se integran mediante la definición de conjuntos difusos y reglas lingüísticas que describen cómo se relacionan entre sí. Por ejemplo, se pueden establecer conjuntos difusos para los costos de implementación, costos operativos y retorno de la inversión, y reglas que determinen cómo influyen en la factibilidad del negocio. Las variables restantes también se incorporan como factores en estas reglas, considerando su impacto en la viabilidad del negocio. El índice difuso de factibilidad se calcula luego combinando todas estas reglas para evaluar la posibilidad de éxito del modelo de negocio en función de las condiciones del entorno, como la densidad poblacional y el volumen de residuos sólidos. Así, para construir reglas en lógica difusa que estimen la factibilidad de un modelo de negocio de recolección de residuos sólidos, primero definamos algunos conjuntos difusos para cada variable:

- I. Costos de implementación, Costos operativos, Ingresos proyectados, Retorno de la inversión, Pasivo pensional, Cargo administrativo, Volumen de residuos sólidos, Densidad poblacional: se puede dividir estas variables en conjuntos difusos como "Bajo", "Medio" y "Alto", reflejando el nivel de cada variable en la realidad.
- II. Gestión del recurso humano, Infraestructura de recolección: Podemos dividir estas variables en conjuntos difusos como "Inadecuado", "Adecuado" y "Excelente", reflejando la calidad de la gestión y la infraestructura.

Ahora, se establecen algunas reglas en forma de "si-entonces" basadas en estas variables difusas:

- I. Si los costos de implementación son altos Y los costos operativos son altos Y los ingresos proyectados son bajos, entonces la factibilidad es baja.
- II. Si el retorno de la inversión es alto Y el pasivo pensional es bajo Y el cargo administrativo es bajo, entonces la factibilidad es alta.
- III. Si el volumen de residuos sólidos es alto Y la densidad poblacional es alta Y la infraestructura de recolección es excelente, entonces la factibilidad es alta.
- IV. Si la gestión del recurso humano es inadecuada O la infraestructura de recolección es inadecuada, entonces la factibilidad es baja.

Para obtener estas reglas, se uso el operador WAM, por sus siglas en inglés *Weighted Arithmetic Mean* (D'Urso & Leski, 2020; Vluymans, Mac Parthaláin, Cornelis, & Saeys, 2019).

En este sentido, se asignan pesos a cada variable en cada fase de acuerdo con la relevancia de cada una respecto a la variable agregada de salida, en donde la sumatoria en cada agregado deberá ser uno (1), esto mediante la siguiente expresión:

$$WAM(a_1 \dots a_n) \sum_{i=1}^n w_i a_i, \in [0.1] \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

(Ecuación 1)

En donde a es la variable y w es el peso asignado.

Para la Fase 2, es decir, las variables agregadas, se implementó el aprendizaje de FIS, que implica el ajuste de muchos parámetros, por ello en este caso es viable considerar solo sistemas de salida única. Una vez que se han definido las particiones difusas de entrada, se procede a generar el conjunto completo de reglas correspondientes a todas las combinaciones de conjuntos difusos. Para este caso, debido a la naturaleza del fenómeno y los datos disponibles, se procedió a usar el método de Mínimos cuadrados ortogonales difusos (OLS por sus siglas en inglés *Orthogonal Least squares*) el cual es un método de aprendizaje basado en prototipos. A partir de análisis de los índices de desempeño, se seleccionó el conjunto de reglas que presentó el menor error asociado y la mayor cobertura.

Finalmente, para seleccionar el conjunto de reglas más adecuado, se usó, el índice de rendimiento disponible en FisPro se basa en el error cuadrático medio (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{A} \sum_{i=1}^A (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

(Ecuación 2)

Donde $\hat{y}_i$ es el valor inferido.

Con lo anterior, se asignan las etiquetas para las variables, presentadas en la Tabla 3:

Tabla 3. Etiquetas de las variables del índice difuso de viabilidad

Variable	Etiqueta
Costos de implementación	V1
Costos operativos	V2
Ingresos proyectados	V3
Retorno de la inversión	V4
Pasivo pensional	V5
Cargo administrativo	V6
Gestión del recurso humano	V7
Infraestructura de recolección	V8
Volumen de residuos sólidos	V9
Densidad poblacional	V10

Nota. Elaboración propia, 2024.

Con esta estructura de identificación de las variables, se procedió a implementar dos paquetes de software libres, cuyas características se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4. Características de GeoFIS y FisPro

Logo	Características	Aplicación en el proyecto
	GeoFIS es una plataforma de software gratuita y de código abierto para el procesamiento de datos de alta resolución espacial con una perspectiva de apoyo a la toma de decisiones. GeoFIS es desarrollado por un grupo de investigadores de varias instituciones francesas de investigación y educación en el campo de la agricultura y el medio ambiente (INRAE y l'Institut Agro Montpellier).¹	• Normalización de los datos en bruto. • Eliminación de datos anómalos. • Definición de la etapa Fuzzy. • Definición de las funciones de pertenencia para cada una de las variables de la estructura de Mandani concebida para el proyecto. • Fusión de los datos mediante el operador WAN.
	FisPro (Fuzzy Inference System Professional) permite crear sistemas de inferencia difusa y utilizarlos con el propósito de razonamiento, sobre todo para la simulación de un sistema físico o biológico. Los sistemas de inferencia difusos se describen brevemente en el glosario de la	• Partición de los datos al 75% para aprendizaje (machine learning) supervisado. • Definición del FIS con y sin reglas. • Estimación de las reglas FIS mediante el operador OLS

¹ Esta información es fiel traducción de la aportada en el sitio web <https://www.geofis.org/en/>

lógica difusa que figura en el presente documento. Operan a partir de reglas de razonamiento difuso, que tienen la ventaja de la gestión de la progresividad de los fenómenos.²	• Evaluación del desempeño de cada una de las reglas difusas. • Evaluación y selección del mejor conjunto de reglas FIS mediante el análisis del índice RMS.
---	---

Nota. Elaboración propia, 2024

8.1.2 Obtención de las reglas FIS

Las reglas FIS (Fuzzy Inference System) en el contexto de la lógica difusa son un conjunto de reglas "si-entonces" que definen cómo convertir entradas borrosas en salidas borrosas, utilizando variables lingüísticas. Estas reglas combinan las funciones de pertenencia de las entradas para producir conclusiones basadas en el conocimiento experto. Un FIS típico incluye una base de reglas, un motor de inferencia, un método de fuzzificación (para convertir valores concretos en difusos) y un método de desfuzzificación (para convertir valores difusos en concretos). Las reglas FIS permiten manejar la incertidumbre y la imprecisión en sistemas de control y toma de decisiones, lo cual es lo que se busca en la evaluación de un modelo de negocios enfocado en la prestación del servicio de recolección y disposición de residuos sólidos.

A continuación, se describe en términos generales el proceso de definición de las reglas FIS a través del software FisPro.

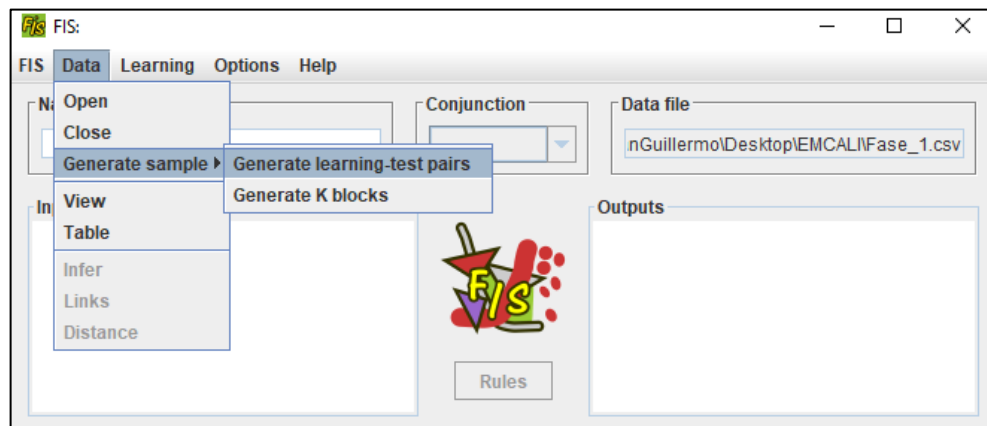
1. Se procedió a normalizar la base de datos a partir de la consolidación de las variables de acuerdo a las etiquetas presentadas en la Tabla 3. Así, se

² Descripción disponible en <https://www.fispro.org/es/>

obtuvo que los valores (comprendidos entre 0 y 1) para las diez variables de la Fase 1 del modelo difuso.

2. De acuerdo a los valores normalizados, y a la definición de las funciones de pertenencia descritas en la tabla 2, se cargó la base de datos que se muestra en el Anexo C y se procede a realizar una partición de la *data* de la siguiente forma: 75% de los datos serán usados para que el sistema difuso aprenda (*learn*) y el 25% restante será usado para probar (*test*) las iteraciones de los datos de acuerdo a los conjuntos difusos. Este procedimiento inicial se muestra paso a paso en las Figuras 6 y 7.

Figura 6. Generación de muestras para aprendizaje (Inr) y prueba (tst)



Nota. Elaboración propia,2024.

Figura 7. Características de la generación de muestras

Generate FIS without rules

Inputs

Number of MFs: 3 All inputs

V1	3	V2	3
V3	3	V4	3
V5	3	V6	3
V7	3	V8	3
V9	3	V10	3

Hierarchy: kmeans

initial partition

☒ Nb of groups: 100

☐ Tolerance threshold: 0.01

Output

☒ Fuzzy

☐ Crisp

Number of MFs: 3

Hierarchy: regular

initial partition

☒ Nb of groups: 100

☐ Tolerance threshold: 0.01

Defuzzification: area

Disjunction: sum

☐ Classif.

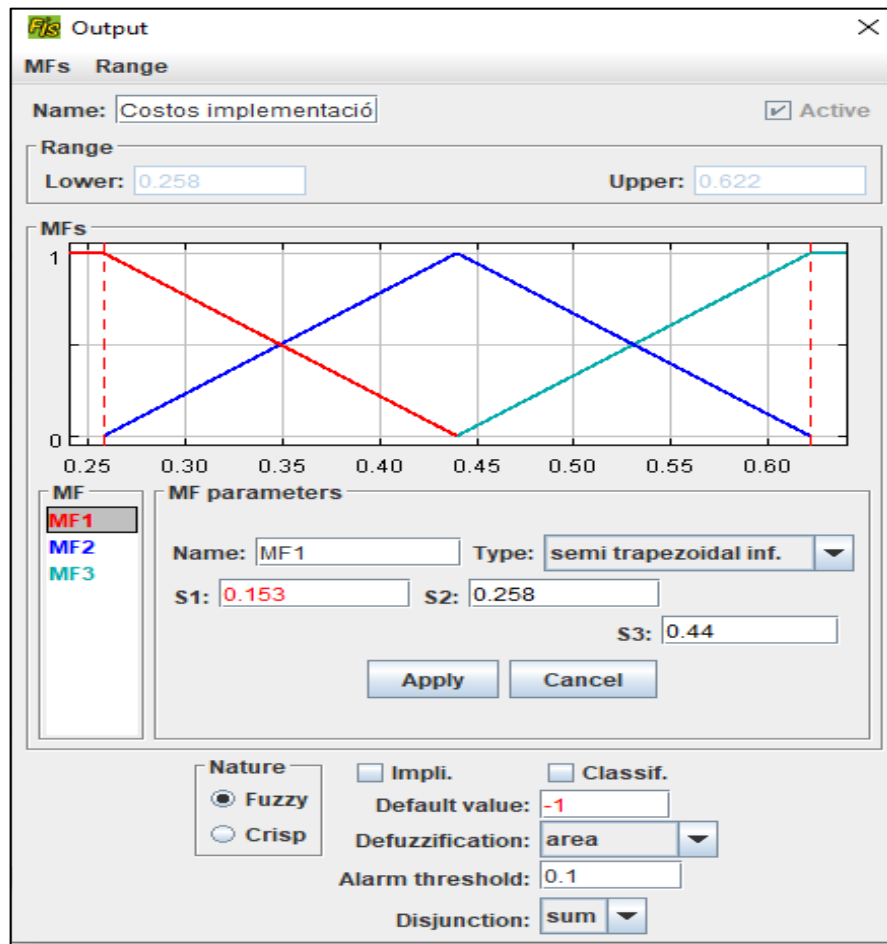
Conjunction: minimum

Apply Cancel

Nota. Elaboración propia,2024.

- Así, se genera un FIS sin reglas, con un contenido aleatorio que se modificó manualmente de acuerdo a las funciones de pertenencia definidas anteriormente. De acuerdo a esto, por ejemplo, se define la función y las ayudas para la variable V1 que corresponde a Costos de implementación, lo cual se muestra en la figura 8.

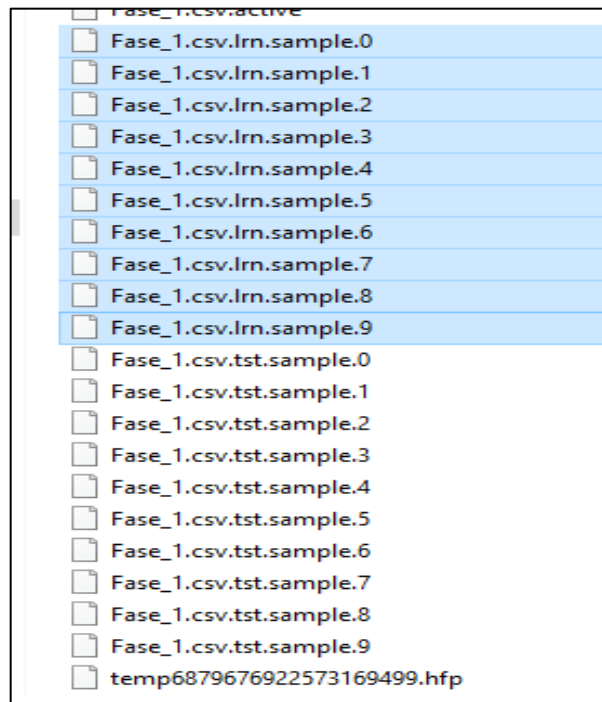
Figura 8. Definición de las funciones de pertenencia en FisPro



Nota. Elaboración propia, 2024.

4. El proceso presentado en la figura 7 se tuvo que repetir para cada una de las diez variables definidas en el modelo, ajustando los parámetros de ayuda (MF) y estableciendo las funciones de pertenencia presentadas anteriormente en la tabla 2. Cabe anotar que las etiquetas de las ayudas (MF) correspondientes a MF1, MF2 y MF3 son respectivamente las respuestas lingüísticas a bajo, medio y alto de las reglas FIS que se desean obtener. Cuando las funciones estuvieron definidas, se generaron nueve archivos (*Samples*) de aprendizaje con la extensión *Inr* y nuevos archivos de prueba (*ts*), lo cual se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Samples Inr (75%) y tst (25%)



Nota. Elaboración propia,2024.

5. Finalmente, mediante el operador OLS, se procedió a hacer una inducción de reglas de acuerdo a las características presentadas en la Figura 10. En este contexto es importante mencionar que El operador OLS (Ordinary Least Squares) en FisPro, utilizado en lógica difusa, es una técnica de optimización que se emplea para ajustar parámetros de un sistema de inferencia difusa (FIS) mediante la minimización del error cuadrático medio entre las salidas esperadas y las salidas reales del sistema. FisPro es una herramienta de software diseñada para la creación y ajuste de sistemas de inferencia difusa, facilitando el desarrollo y la validación de modelos basados en datos. El OLS se utiliza en el contexto del ajuste de reglas difusas, donde el objetivo es encontrar los parámetros óptimos que minimicen la discrepancia entre los valores predichos por el modelo difuso y los valores observados en un conjunto de datos de entrenamiento. Este operador ajusta los coeficientes de

las funciones de pertenencia y las reglas difusas para mejorar la precisión del modelo.

Figura 10. Características del operador OLS para el caso de estudio.

OLS

Output: Index

☐ Keep existing rules

1st pass - Rule selection

Maximum number of rules 100

Total unexplained variance 0.05

2nd pass - Optimize conclusions

Test data file: C:\Users\JuanGuillermo\Desktop\EMCALIN\Fase_1.csv

☒ Output vocabulary reduction

☒ Use rule Conclusions

☐ Use output data

☒ Number of conclusions 7

☐ Performance degradation allowed 10 %

☐ Output fuzzification

☒ Remove temporary files

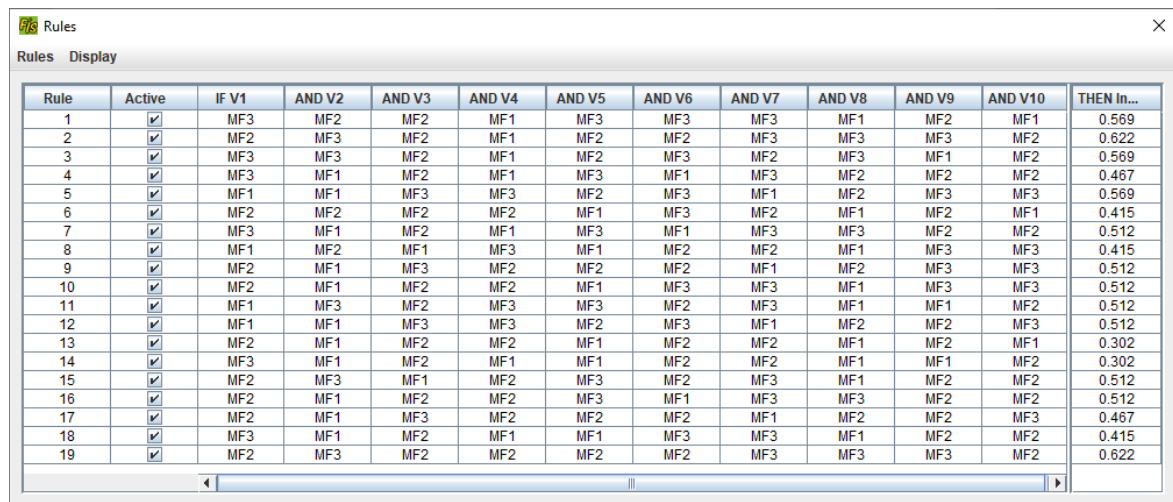
OK Cancel

Nota. Elaboración propia,2024.

6. La metodología OLS se basa en la minimización de la suma de los cuadrados de las diferencias (errores) entre las salidas observadas y las salidas predichas por el sistema. Al aplicar este operador, FisPro puede optimizar el modelo difuso, mejorando su capacidad de generalización y precisión en la toma de decisiones. Este proceso es crucial para aplicaciones prácticas donde se requiere un alto grado de exactitud en el modelado y control difuso, como en sistemas de control, predicción y clasificación.
7. Finalmente, se procede a evaluar cada uno de los archivos de aprendizaje y de prueba, y se selecciona el conjunto de reglas que tenga el mejor desempeño estadístico en términos del MAE. Así, el conjunto de reglas que

mejor explica el modelo de negocio asociado a la prestación del servicio de recolección y disposición de residuos sólidos urbanos en casi, se muestra en la figura 11.

Figura 11. Reglas FIS para el modelo de negocio de recolección y disposición de RS en la ciudad de Cali



Rule	Active	IF V1	AND V2	AND V3	AND V4	AND V5	AND V6	AND V7	AND V8	AND V9	AND V10	THEN In...
1	☒	MF3	MF2	MF2	MF1	MF3	MF3	MF3	MF1	MF2	MF1	0.569
2	☒	MF2	MF3	MF2	MF1	MF2	MF2	MF3	MF3	MF3	MF2	0.622
3	☒	MF3	MF3	MF2	MF1	MF2	MF3	MF2	MF3	MF1	MF2	0.569
4	☒	MF3	MF1	MF2	MF1	MF3	MF1	MF3	MF2	MF2	MF2	0.467
5	☒	MF1	MF1	MF3	MF3	MF2	MF3	MF1	MF2	MF3	MF3	0.569
6	☒	MF2	MF2	MF2	MF2	MF1	MF3	MF2	MF1	MF2	MF1	0.415
7	☒	MF3	MF1	MF2	MF1	MF3	MF1	MF3	MF3	MF2	MF2	0.512
8	☒	MF1	MF2	MF1	MF3	MF1	MF2	MF2	MF1	MF3	MF3	0.415
9	☒	MF2	MF1	MF3	MF2	MF2	MF2	MF1	MF2	MF3	MF3	0.512
10	☒	MF2	MF1	MF2	MF2	MF1	MF3	MF3	MF1	MF3	MF3	0.512
11	☒	MF1	MF3	MF2	MF3	MF3	MF2	MF3	MF1	MF1	MF2	0.512
12	☒	MF1	MF1	MF3	MF3	MF2	MF3	MF1	MF2	MF2	MF3	0.512
13	☒	MF2	MF1	MF2	MF2	MF1	MF2	MF2	MF1	MF2	MF1	0.302
14	☒	MF3	MF1	MF2	MF1	MF1	MF2	MF2	MF1	MF1	MF2	0.302
15	☒	MF2	MF3	MF1	MF2	MF3	MF2	MF3	MF1	MF2	MF2	0.512
16	☒	MF2	MF1	MF2	MF2	MF3	MF1	MF3	MF3	MF2	MF2	0.512
17	☒	MF2	MF1	MF3	MF2	MF2	MF2	MF1	MF2	MF2	MF3	0.467
18	☒	MF3	MF1	MF2	MF1	MF1	MF3	MF3	MF1	MF2	MF2	0.415
19	☒	MF2	MF3	MF2	MF2	MF2	MF2	MF3	MF3	MF3	MF2	0.622

Nota. Elaboración propia,2024.

De acuerdo a la Figura 11, un modelo de negocio para la prestación del servicio de recolección y disposición de residuos sólidos en Cali, Colombia, las reglas "if-then" (si-entonces) de la lógica difusa se pueden implementar para mejorar la eficiencia y la efectividad del servicio. Estas reglas permiten manejar la incertidumbre y la variabilidad en factores que afectan la recolección de residuos, como la cantidad de residuos generados, los costos de implementación, el pasivo pensional entre otras multiples variables que pueden interactuar en este caso de estudio. Así, por ejemplo, un conjunto de reglas difusa para la variable operativa "Cantidad de Residuos" puede ser:

Regla 1: Si la cantidad de residuos en una zona es alta entonces asignar más vehículos de recolección.

Regla 2: Si la cantidad de residuos en una zona es baja entonces asignar menos vehículos de recolección.

Estas reglas se implementan en un sistema de inferencia difusa que toma como entrada variables lingüísticas (como "alta", "baja", "pesado", "ligero" etc) y las procesa a través de funciones de pertenencia para generar salidas adecuadas. Por ejemplo, la regla 1 utilizaría la función de pertenencia para determinar qué significa "alta" en términos de cantidad de residuos y luego activar la acción correspondiente. El uso de reglas "if-then" en la lógica difusa permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad en la operación del servicio de recolección de residuos, mejorando la eficiencia operativa y la satisfacción de los usuarios al ajustar dinámicamente las estrategias de recolección y disposición según las condiciones reales y cambiantes de la ciudad de Cali.

8.2 Resultados objetivo específico II: Evaluar la viabilidad técnica y operativa del servicio de recolección de basura en un modelo de retoma por parte EMSIRVA/EMCALI basado en lógica difusa

En el análisis de escenarios, que contempla la viabilidad técnica y operativa, para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en Santiago de Cali, se exploraron diferentes niveles de incertidumbre que puedan afectar dicha prestación. Se consideraron diversas situaciones que puedan generar cambios significativos en la demanda, los costos operativos y otras variables relevantes, con el fin de identificar y evaluar los riesgos asociados. Estos escenarios permitirán obtener una visión amplia de las posibles situaciones a enfrentar y las medidas que se deben tomar para garantizar la calidad y eficiencia del servicio en diferentes contextos.

8.2.1 Cambios en la demanda

Uno de los escenarios de incertidumbre a considerar en el análisis se centra en los posibles cambios en la demanda del servicio de recolección de residuos sólidos en Santiago de Cali. Se evaluarán diferentes factores que pueden afectar la demanda, como cambios demográficos, cambios en los patrones de consumo y cambios en las políticas de gestión de residuos. La identificación de estos posibles cambios permitirá evaluar los riesgos asociados a la demanda y desarrollar estrategias para hacer frente a diferentes escenarios, asegurando la disponibilidad del servicio en todo momento.

8.2.2 Variaciones en los costos operativos

Otro escenario relevante a considerar son las posibles variaciones en los costos operativos de la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en Santiago de Cali. Se analizarán factores como variaciones en los precios de combustibles, tasas de inflación, cambios en la normativa laboral y fluctuaciones en los precios de los equipos y repuestos necesarios para llevar a cabo la recolección. Al evaluar estas variaciones, se podrán identificar los riesgos asociados a los costos operativos y diseñar estrategias para mitigar su impacto en la prestación del servicio.

Este aspecto es muy importante, pues precisamente mediante Resolución No. 20091300007455, del 25 de marzo de 2009, “Por la cual se decreta la liquidación de la Empresa de Servicios Públicos de Aseo de Cali – EMSIRVA ESP”, ordenó la liquidación forzosa administrativa de la empresa que prestaba el servicio público de aseo en la ciudad de Santiago de Cali, designando el agente liquidador. Las causas de la liquidación fueron:

a) “Convención colectiva onerosa;

- b) Cuantioso pasivo pensional que le generó una pérdida operacional de \$336 millones para el año 2003; y
- c) Altos costos operativos derivados de ineficiencias operativas y obsolescencia del parque automotor”.

EMCALI tiene la posibilidad (al margen de las consideraciones operativas, técnicas y de conveniencia que se tengan al respecto) de prestar el servicio público de aseo como un competidor más del mercado sin ningún tipo de operador o asistente técnico, dado que su objeto social le permite prestar el servicio público de aseo. En el informe anterior se indicaron los requisitos que debe cumplir EMCALI para poder iniciar su operación; requisitos que deben ser cumplidos independientemente de la forma de prestación que se defina.

Ahora bien, ser un competidor más del mercado no le otorga a EMCALI, alguna prerrogativa adicional frente a los demás competidores dado que el mercado estaría en libre competencia. Esto implica, en este escenario, que los demás actores o agentes del mercado no tendrían una vinculación contractual con EMCALI (tal como se explicó en detalle en el Producto 1) y, por lo tanto, la supervisión y control de todos los operadores del Distrito de Santiago de Cali solamente sería a través del PGIRS, lo cual genera retos para garantizar la adecuada prestación de un servicio con la calidad requerida.

Algunas de las ventajas y desventajas de esta alternativa se evidencian a continuación (ver Tabla 5):

Tabla 5. Ventajas y desventajas de la alternativa de prestación indirecta

Ventajas	Desventajas
Prestador con experiencia en otros servicios y con capacidad organizacional para entrar en un nuevo servicio	No tiene experiencia específica en materia de aseo
Tiene capacidad jurídica de acuerdo con su objeto para prestar el servicio público de aseo.	El mercado estaría en libre competencia con descreme del mercado (esta sería igual para todas las alternativas fijadas en la línea estratégica del Distrito)
No depende de los prestadores y contratos y EMCALI es autónoma en su prestación.	Se requiere la creación de una Gerencia de Aseo con sus respectivas áreas y funciones y contratación de personal para atender la totalidad de las cuatro zonas de prestación
Cuenta con información detallada de catastro de usuarios de los diferentes servicios públicos que presta y funciones de facturador conjunto	Requiere inversiones o leasing para tener disponible la cantidad de equipos que requiere el servicio integral para las cuatro zonas.

Nota. Elaboración propia, 2024.

Los pasos generales a seguir serían los siguientes, los cuales se detallarán en el siguiente informe:

- Alistamiento de EMCALI y creación de Uniaseo.
- Registrar a EMCALI dentro del Registro Único de Prestadores.
- Comprar los equipos necesarios para la prestación del servicio público de aseo.
- Llevar a cabo la liquidación de los contratos.
- Definir la transición del servicio con los operadores actuales.
- Definir la estrategia comercial de prestación entre otros.

8.2.3 Contratación de operadores

Esta alternativa contractual consiste en que EMCALI iniciaría con la contratación de nuevos operadores previo a terminar los contratos de operación actuales, como lo hizo Emsirva en su momento, con nuevos contratos que se adapten a las características del servicio público de aseo del Distrito de Santiago de Cali. La modalidad de estos contratos será definida al momento de la estructuración del proyecto y dependiendo de la infraestructura asociada a la misma (v.gr. incluir alguna infraestructura relacionada con tratamiento de residuos, etc.). Para ello, existen diversas alternativas, tales como: contrato de concesión de servicios públicos, contratos de alianza estratégica, contratos de asociación público privada, entre otras formas contractuales que pueden estructurarse dada la flexibilidad que brinda la Ley 142 de 1994; todo ello se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de contratación de operadores

Ventajas	Desventajas
Prestador fortalecido con experiencia en otros servicios y con capacidad organizacional para fungir como contratante.	Se requiere estructurar un contrato de concesión/operación y para esto se requiere un esfuerzo institucional y un compromiso estratégico por parte de EMCALI.
Tiene capacidad jurídica de acuerdo con su objeto para prestar el servicio público de aseo	El mercado estaría en libre competencia con descreme del mercado.
Se terceriza la operación con prestadores con experiencia reconocida en el sector de aseo.	Se requiere la creación de una Gerencia de Supervisión de Aseo con sus respectivas áreas y funciones.
Se generan obligaciones de resultado a cargo de los operadores de aseo en el marco del contrato.	Se tiene el riesgo de que no exista apetito en el mercado para entrar en nuevos contratos de concesión, bajo el entendido que, a la fecha, existen incumbentes con alta experiencia local e internacional.
Se podría contratar una interventoría fuerte para la vigilancia de los Contratos.	Incertidumbre frente a la posibilidad de obtener un R –esto depende de: (i) apetito del mercado (ii) del modelo financiero y proceso competitivo.

Nota. Elaboración propia, 2024.

Los pasos generales a seguir serían los siguientes, los cuales se detallarán en el siguiente informe:

- Alistamiento de EMCALI y creación de Uniaseo para la supervisión del nuevo esquema.
- Registrar a EMCALI dentro del Registro Único de Prestadores.
- Estructurar el proceso de contratación de los nuevos operadores
- Contratar los nuevos operadores.
- Llevar a cabo la liquidación de los contratos.

8.2.4 Otras variables relevantes

Además de los cambios en la demanda y las variaciones en los costos operativos, existen otras variables relevantes que se deben considerar en el análisis de escenarios para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en Santiago de Cali. Entre estas variables se encuentran la disponibilidad de recursos financieros, los cambios en la infraestructura urbana, los avances tecnológicos en el sector de gestión de residuos y las políticas ambientales. La evaluación de estas variables permitirá identificar los riesgos asociados y establecer acciones preventivas y correctivas para garantizar la continuidad y eficiencia del servicio.

8.2.5 Actores claves del sistema hacia una economía circular

En el sistema de gestión hacia una economía circular en el Distrito de Santiago de Cali, se identifican tres tipos de actores clave: facilitadores, agentes de cambio y replicadores. Los facilitadores son entidades como la Secretaría de Desarrollo Económico, encargada de liderar la política de desarrollo económico del municipio; la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, responsable de garantizar la prestación efectiva de los servicios públicos; el Departamento Administrativo de Planeación Distrital, encargado de orientar el desarrollo integral del distrito; el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), responsable de la gestión ambiental en el municipio; la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), entidad encargada de administrar el medio ambiente y los recursos naturales renovables en la región; y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, rector de la gestión ambiental a nivel nacional. Los agentes de cambio son instituciones como la Cámara de Comercio de Cali, que promueve el desarrollo del sector empresarial y la competitividad; el Concejo Distrital de Santiago de Cali, espacio de representación democrática que impulsa el desarrollo integral de la sociedad caleña; la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), que representa los intereses de las empresas de servicios

públicos y contribuye al crecimiento sostenible del sector; y las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento (ECAs), encargadas de la recolección y aprovechamiento de los residuos sólidos, además de promover la sensibilización y cambio conductual en la comunidad. Los replicadores son entidades y grupos de personas que, después de recibir capacitación y sensibilización, se encargan de difundir el conocimiento y educar a la comunidad sobre la economía circular. Entre los replicadores se encuentran la comunidad en general, que mediante el "voz a voz" puede influir en su entorno inmediato; el sector de la academia, como colegios, universidades y centros de formación, que pueden generar propuestas innovadoras y fomentar la participación en la circularidad; y organismos como la Policía, Bomberos y Defensa Civil, que ejercen influencia en la comunidad y pueden promover cambios de comportamiento y aplicar sanciones según la normatividad vigente. Estos actores clave desempeñan un papel fundamental en la implementación de la economía circular en el distrito, ya sea impulsando políticas y programas, garantizando la prestación de servicios, educando y sensibilizando a la comunidad, o replicando el conocimiento y promoviendo cambios en diversos sectores. De conformidad con el marco legal colombiano, la prestación del servicio público de aseo en Colombia se puede llevar a cabo bajo dos esquemas: competencia en el mercado y competencia por el mercado.

En el esquema de competencia en el mercado, dos o más empresas prestadoras del servicio compiten entre sí bajo directrices legales. Estas empresas firman contratos uniformes con los usuarios, estableciendo tarifas basadas en precios eficientes. Se permite operar por debajo de los costos máximos permitidos, siempre que se mantenga la suficiencia financiera para cada una de las empresas prestadoras en un área determinada. Se prohíben prácticas restrictivas y desleales que afecten la competencia. El segundo esquema es la alternativa de Áreas de Servicio Exclusivo, que se basa en lo estipulado en el artículo 40 de la Ley 142 de 1994. Este esquema busca extender la cobertura de los servicios públicos a las personas de menores ingresos. Las entidades territoriales competentes pueden

establecer áreas de servicio exclusivas, donde ninguna otra empresa puede ofrecer los mismos servicios durante un tiempo determinado. Los contratos deben precisar el área geográfica de prestación, los niveles de calidad requeridos y las obligaciones del contratista. También se pueden pactar aportes públicos adicionales para ampliar el servicio. En Santiago de Cali, actualmente se prestan servicios de aseo bajo el esquema de competencia en el mercado, lo cual se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Empresas prestadoras y operadoras del servicio de aseo en la ciudad de Cali, Valle del Cauca.

Empresa	Posee titularidad de los (CCU) como E.S.P.	Operador del servicio
Empresa de Servicio Público de Aseo de Cali E.S.P. (En Liquidación)	Si	Ciudad Limpia S.A. E.S.P.; Promoambiental Cali S.A. E.S.P.; Promoambiental Valle S.A. E.S.P. Veolia S.;
Limpieza y Servicios Públicos S.A. E.S.P.	Si	Directo
Misión Ambiental S.A. E.S.P.	Si	Directo
Serviambientales del Valle S.A. E.S.P.	Si	Directo

Nota. Adaptado de EMSIRVA En Liquidación.

8.3 Resultados objetivo específico III: Evaluar la aceptación y la viabilidad económica del proyecto entre los diferentes actores involucrados.

La prestación del servicio público domiciliario de aseo en el Distrito de Santiago de Cali comprende una serie de actividades comerciales, financieras y técnico – operativas, cada una de las cuales se detallan más adelante en el Reglamento Comercial y Financiero, o en el Reglamento Técnico – Operativo, de forma que

ambos reglamentos se constituyen en el eje de la gestión que cada concesionario y/o operador corresponsable debe dar cumplimiento.

Desde el punto de vista comercial y financiero, se tiene un modelo en el cual la ejecución de las actividades son responsabilidad directa del Prestador - Contratante y de los concesionarios y/o operadores corresponsables del servicio público de aseo, con sujeción a la normatividad vigente y a lo establecido en este reglamento y sus modificaciones.

La gestión comercial comprende las siguientes actividades:

- Atención de usuarios.
- Administración, actualización y mantenimiento del catastro de usuarios.
- Medición, liquidación y facturación del servicio.
- Liquidación de los pagos de la bolsa de la concesión.

El Prestador – Contratante deberá contar con la definición, implementación, mantenimiento y administración de un Sistema de Información Integral para el Servicio Público de Aseo, SIISA, de conformidad con lo establecido en el Anexo Comercial y Financiero.

La liquidación de los pagos a cada uno de los agentes y/o componentes intervinientes en el esquema de prestación del servicio de recolección, barrido y limpieza, y disposición final de residuos, se realizará con la información suministrada por el SIISA.

8.3.1 Modelo de Gestión Comercial

El Modelo de Gestión Comercial aplicado a la prestación del servicio público domiciliario de aseo, se fundamenta en la ejecución de una serie de actividades comerciales bajo el concurso directo de los concesionarios del servicio de aseo. Este modelo de gestión se detalla en este reglamento y debe cumplir los términos y condiciones establecidos en el contrato de concesión y en las disposiciones

normativas vigentes. Los concesionarios y/o operadores corresponsables dispondrán de un Sub Sistema de Información Comercial y Financiero –SICF-, incluido en el Sistema de Información Integral del Servicio Público de Aseo –SIISA - Especificaciones Técnicas del SIISA - del Reglamento Técnico – Operativo; que se constituye en una herramienta para ejecutar la gestión comercial y financiera, el cual es el conjunto de elementos físicos (hardware), tecnológicos (software) y procedimientos (manuales y protocolos de operación) cuya función es administrar, mantener, actualizar, georreferenciar y gestionar bases de datos que contienen toda la información de carácter comercial y financiera asociada a cada uno de los usuarios del servicio público domiciliario de aseo.

Los concesionarios y/o operadores corresponsables del servicio público domiciliario de aseo en el Distrito de Santiago de Cali deberán cumplir las siguientes obligaciones generales:

Facturación Conjunta. Los concesionarios suscribirán un Convenio de Facturación Conjunta con una Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios, liquidarán y facturarán a través del SICF el monto a pagar por la prestación del servicio, incluyendo los valores adeudados de vigencias anteriores y demás conceptos inherentes a la facturación, de acuerdo con las tarifas vigentes y con lo dispuesto en el Convenio de Facturación Conjunta que se suscriba en virtud del artículo 147 de la Ley 142 de 1994, de la reglamentación expedida por la CRA y de lo dispuesto en el numeral 6 “MEDICIÓN, LIQUIDACION Y FACTURACION DEL SERVICIO” de este Reglamento.

El convenio resultante y todo el proceso de facturación conjunta cumplirá con la reglamentación contenida en la Ley 142 de 1994, en la Resolución CRA 151 de 2001, en el Decreto 2668 de 1999, en la Resolución CRA 422 de 2007, en el Contrato de Condiciones Uniformes del servicio público domiciliario de aseo y en la normatividad vigente relacionada.

Atención al Usuario. Los concesionarios del servicio público domiciliario de aseo en el Distrito de Santiago de Cali recibirán, atenderán, tramitarán y resolverán las peticiones, quejas, reclamos (PQR), recursos y solicitudes presentados por los usuarios por cualquiera de los siguientes canales de atención: escrito, presencial (Puntos de Atención a Usuarios), Portal Web, Sistema de Quejas y Soluciones – SQS- y Contact Center, aplicando criterios de calidad, oportunidad y eficiencia, y los procedimientos del presente reglamento y de acuerdo a los lineamientos establecidos en la Ley 142 de 1994 y en este Reglamento. El Portal Web y el Contact Center serán contratados y administrados por el Prestador -Contratante y/o concesionarios según sea el caso. Todas las PQR, las solicitudes y los recursos serán ingresados y tramitados por medio del módulo PQR del SICF y también deberán ser registrados en el Sistema de Quejas y Soluciones –SQS-, garantizando su trazabilidad y la revisión de sus trámites, de conformidad con la normatividad vigente.

8.4 Validación del Modelo

8.4.1 Indicadores clave de desempeño (Kpis) para evaluar la prestación del servicio

De acuerdo a la Resolución CRA 720 en el ARTÍCULO 69. Seguimiento de las metas para los indicadores. El seguimiento al cumplimiento de las metas propuestas para cada uno de los indicadores de servicio y de calidad relacionados en el ANEXO III que hace parte integral de la presente resolución, se hará de acuerdo con la periodicidad que se establezca en el esquema de reporte de información definido por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y deberá realizarse bajo los siguientes aspectos:

1. **Autocontrol:** La persona prestadora deberá realizar un control mensual al cumplimiento de las metas en los indicadores.

2. **Supervisión:** Las auditorías externas de gestión y resultados o quien haga sus veces, deberán reportar los indicadores de cumplimiento a los estándares del servicio con una periodicidad mensual.
3. **Reporte de resultados:** La persona prestadora deberá reportar los resultados, producto de su autocontrol, en el formato que se establezca en el esquema de reporte de información definido por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.
4. **Publicación de los resultados reportados:** La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento Básico harán públicos en sus páginas web los resultados del seguimiento a las metas para los indicadores de eficiencia y de servicio, con una periodicidad anual.
5. Para las metas cuyo resultado eficiente debe aumentar el indicador de cumplimiento será:

$$\text{Cumplimiento} = \text{Real} / \text{Meta}$$

Cuando el resultado eficiente es disminuir el indicador se calculará:

$$\text{Cumplimiento} = \text{Real} / \text{Meta}$$

8.4.2 Importancia de la prevención y minimización

La prevención en la generación de residuos es una de las medidas más costo-efectivas para la gestión de materiales en un territorio. En Colombia, muchas comunidades están asentadas en territorios donde el acceso a bienes y materiales de consumo se hace por medio de vías aérea, fluvial o marítima, esto hace que los costos logísticos aumenten y se requieran otras alternativas (de ingeniería y financieras) para gestionar el manejo de los residuos sólidos.

De igual forma, la falta de vías de comunicación terrestre es uno de los factores que reduce la posibilidad de identificar áreas disponibles para la construcción de infraestructura asociada al tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos, lo que hace más importante propender por la implementación de medidas y estrategias dedicadas a reducir al máximo la generación de los residuos sólidos por parte de las administraciones municipales, autoridades ambientales y personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios.

Por último, la prevención en la generación de residuos o reducción en el origen es una medida ligada a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Específicamente el objetivo 12 “producción y consumos responsables” hace énfasis en la necesidad de reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos. La meta 3, señala que a 2030 se debe reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores, además las metas 4 y 5 pretenden a 2020 lograr la gestión ecológicamente racional de todos los residuos a lo largo de su ciclo de vida; y reducir considerablemente la generación de residuos mediante actividades de prevención, reducción, reciclaje y reutilización a 2030.

En este contexto, la prevención y minimización en la generación de residuos, debe tener como principios rectores la eficiencia, cultura y el consumo responsable. Las corrientes de residuos a priorizar deben partir de la caracterización de residuos en el territorio, aunque las más comunes son los residuos de alimentos, envases y empaques de un solo uso.

8.4.3 Responsabilidades del prestador del servicio público de aseo

Establecer en el contrato de condiciones uniformes los mecanismos de atención de los residuos presentados por los usuarios del servicio.

- I. Determinar la viabilidad de ubicación de cajas de almacenamiento y sus características de manera que sean compatibles con sus equipos de recolección y transporte.
- II. Realizar el lavado de los contenedores en vehículos especializados para tal fin, después de cada frecuencia de recolección (vehículos lava contenedores cerrados sin emisión de líquidos producto del lavado) y realizar mantenimiento de los sistemas de contenedores.
- III. Realizar campañas divulgativas y de sensibilización a los usuarios del servicio para la presentación adecuada de los residuos.
- IV. Los prestadores de la actividad de aprovechamiento (deben realizar capacitación y sensibilización a los usuarios en la presentación adecuada de los residuos objeto de aprovechamiento.
- V. Los prestadores de la actividad de tratamiento deben realizar capacitación y sensibilización a los usuarios en la presentación adecuada de los residuos objeto de tratamiento.
- VI. Divulgar entre todos sus usuarios las frecuencias para la atención de los residuos y cumplirlas de manera estricta. Debe asegurarse la divulgación amplia de cambios en las frecuencias de atención.
- VII. Pactar con los usuarios la remuneración y la manera de presentación de residuos especiales tales como voluminosos o Residuos de Construcción y Demolición, RCD, como servicios adicionales al servicio público de aseo.
- VIII. Los prestadores de las actividades de barrido y limpieza de vías y áreas públicas, corte de césped y poda de árboles, deber realizar la presentación de los residuos en zonas públicas para su recolección y transporte hasta la infraestructura del servicio público que corresponda para su tratamiento o aprovechamiento.
- IX. Realizar los estudios de viabilidad técnica basados en la generación de residuos, equipos, sistemas y vehículos de recolección,

condiciones físicas de las zonas a contenerizar y lineamientos y normas urbanísticas y de tránsito vigentes para cada municipio o distrito, para la implementación de contenedores en zonas públicas.

8.5 Metodología tarifaria según la resolución 720 de 2015

La Resolución CRA 720 de 2015 establece el régimen de regulación tarifaria para las personas prestadoras del servicio público de aseo en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas.

Al respecto los aspectos más relevantes de la resolución y se explicará su importancia para el sector de aseo en Colombia.

En primer lugar, la resolución establece que los prestadores del servicio público de aseo deben someterse a un régimen de regulación tarifaria que garantice la prestación del servicio en condiciones de calidad, eficiencia y sostenibilidad financiera. Para ello, se establece una metodología para el cálculo de las tarifas que tenga en cuenta los costos de operación, inversión y financiamiento del servicio, así como los ingresos por la prestación de este.

La metodología tarifaria adoptada mediante la presente resolución es conocida como "precio techo". Esto significa que las personas prestadoras del servicio público de aseo tienen la posibilidad de cobrar, en cualquier momento y respetando las normas de competencia, información y protección a los suscriptores, hasta un límite que representa su precio máximo calculado según lo establecido en esta resolución. Sin embargo, es importante destacar que este precio máximo debe ser aprobado por la Entidad Tarifaria Local correspondiente, asegurando así el cumplimiento de las regulaciones y la protección de los intereses de los usuarios.

El cálculo de las tarifas se divide en tres etapas: la identificación de los costos, la asignación de los costos a los diferentes servicios y la determinación de las tarifas.

En la primera etapa, se identifican los costos directos e indirectos asociados a la prestación del servicio, así como los costos de inversión y financiamiento. En la segunda etapa, se asignan los costos a los diferentes servicios que se prestan, como la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos. En la tercera etapa, se determinan las tarifas que deben pagar los usuarios del servicio en función de los costos asignados a cada servicio. La resolución también establece que las personas prestadoras del servicio público de aseo deben presentar una propuesta de tarifas a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) para su aprobación. La propuesta debe incluir información detallada sobre los costos de operación, inversión y financiamiento del servicio, así como los ingresos por la prestación del servicio.

La resolución también establece que los prestadores del servicio público de aseo deben presentar una propuesta de tarifas a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) para su aprobación. La propuesta debe incluir información detallada sobre los costos de operación, inversión y financiamiento del servicio, así como los ingresos por la prestación del mismo. Esto garantiza que las tarifas sean justas y razonables para los usuarios del servicio.

En conclusión, la Resolución CRA 720 de 2015 es un importante instrumento de regulación que busca garantizar la prestación del servicio público de aseo en condiciones de calidad, eficiencia y sostenibilidad financiera. La metodología para el cálculo de las tarifas establecida en la resolución es un importante avance en la regulación del sector de aseo en Colombia y permite una mayor transparencia en la fijación de las tarifas y una mayor eficiencia en la prestación del servicio.

8.5.1 Ingresos de los operadores de servicio y análisis del “r”

En la tabla 8 se resume el total de la compensación recibida por EMSIRVA E.S.P En Liquidación desde el inicio del proceso de liquidación (en marzo de 2009) hasta

la fecha de corte de diciembre de 2022. Las variaciones en el monto de la compensación son resultado de las variaciones en el recaudo de las tarifas de aseo.

Así, durante los últimos 14 años, se ha observado un notorio incremento en el Recaudo, que ha experimentado un crecimiento significativo. En el año 2009, el monto recaudado ascendía a \$5.294 millones, mientras que en el año 2022 alcanzó la cifra de \$33.749 millones. Estos datos revelan una tendencia positiva en el aumento de los recursos captados a lo largo del tiempo.

Es interesante destacar que, en este contexto, la empresa Veolia, anteriormente conocida como EMAS Cali, ha desempeñado un papel destacado en el recaudo, representando el 52% del total. Esto significa que más de la mitad de los fondos recaudados provienen de las actividades de Veolia. En segundo lugar, se encuentra Promo Valle, contribuyendo con el 23% del recaudo, seguida de cerca por Promo Cali, que aporta el 22%. Por otro lado, se observa que Ciudad Limpia tiene una participación más modesta, representando únicamente el 3% del recaudo total.

Tabla 8. Ingresos de los operadores de servicio y análisis del “r”

Operador	Año			
	2009	2010	2011	2012
Promo Valle	\$ 1.885.728.815,00	\$ 2.888.769.658,00	\$ 3.232.878.401,00	\$ 3.537.628.526,00
EMAS Cali	\$ 3.405.891.766,00	\$ 5.355.298.601,00	\$ 6.035.264.023,00	\$ 6.494.486.241,00
Promo Cali	NA	\$ 1.620.367.730,00	\$ 2.816.549.244,00	\$ 3.077.166.358,00
Interaseo	\$ 2.325.735,00	\$ 2.854.902,00	\$ 3.014.791,00	\$ 3.349.488,00
Recaudo Real	\$ 5.293.946.316,00	9867292901	12087708470	13112632625
Operador	2013	2014	2015	SubTotal a 2015
Promo Valle	\$ 3.880.836.143,00	\$ 4.166.675.899,00	\$ 4.208.025.155,00	\$ 23.802.596.595,00
EMAS Cali	\$ 7.204.365.671,00	\$ 7.817.278.704,00	\$ 8.389.588.410,00	\$ 44.702.173.417,00
Promo Cali	\$ 3.275.710.029,00	\$ 3.461.260.921,00	\$ 3.588.426.286,00	\$ 17.839.480.568,00
Interaseo	\$ 3.560.751,00	\$ 3.704.907,00	\$ 3.825.004,00	\$ 22.635.579,00
Recaudo Real	\$ 14.364.472.594,00	\$ 15.448.920.431,00	\$ 16.189.864.855,00	\$ 86.366.886.159,00
Operador	2016	2017	2018	2019
Promo Valle	\$ 4.521.179.730,00	\$ 4.926.393.157,00	\$ 5.291.584.126,00	\$ 5.589.971.013,00

EMAS Cali	\$ 9.908.489.527,00	\$ 12.182.356.642,00	\$ 13.108.440.340,00	\$ 13.649.949.629,00
Promo Cali	\$ 4.221.200.071,00	\$ 5.450.446.265,00	\$ 5.683.444.806,00	\$ 5.865.841.653,00
Ciudad limpia	\$ 1.204.749.631,00	\$ 996.073.211,00	\$ 940.780.983,00	\$ 967.133.785,00
Interaseo	\$ 4.064.330,00	\$ 10.051.606,00	\$ 10.492.947,00	\$ 10.668.164,00
Recaudo Real	\$ 19.859.683.289,00	\$ 23.565.320.881,00	\$ 25.034.743.202,00	\$ 26.083.564.244,00
Operador	2020	2021	2022	Totales
Promo Valle	\$ 5.630.134.852,00	\$ 6.056.725.712,00	\$ 7.083.628.447,00	\$ 62.902.213.631,00
EMAS Cali	\$ 13.802.286.195,00	\$ 14.502.646.840,00	\$ 17.909.277.486,00	\$ 139.765.620.075,00
Promo Cali	\$ 5.955.428.095,00	\$ 6.414.260.583,00	\$ 7.443.912.268,00	\$ 58.874.014.309,00
Ciudad limpia	\$ 1.000.658.989,00	\$ 1.089.692.184,00	\$ 1.301.358.865,00	\$ 7.500.447.648,00
Interaseo	\$ 10.723.907,00	\$ 11.001.021,00	\$ 11.047.365,00	\$ 90.684.919,00
Recaudo Real	\$ 26.399.232.038,00	\$ 28.074.326.340,00	\$ 33.749.224.431,00	\$ 269.132.980.582,00

Nota. Elaboración propia, 2024.

Estos datos permiten concluir que Veolia es la empresa que ha tenido un mayor impacto en el recaudo durante este período, consolidándose como la principal contribuyente. Es importante resaltar que la participación de Promo Valle y Promo Cali también es significativa, ya que su aporte conjunto representa casi la mitad del recaudo. Sin embargo, es necesario profundizar sobre los factores que han llevado a Ciudad Limpia a tener una participación más reducida en el recaudo, lo cual podría deberse a diversas circunstancias y requeriría una evaluación más detallada.

En resumen, el Recaudo ha experimentado un crecimiento notable en los últimos 14 años, pasando de \$5.294 millones en 2009 a \$33.749 millones en 2022. Veolia destaca como la empresa líder en el recaudo, seguida de cerca por Promo Valle y Promo Cali, mientras que Ciudad Limpia tiene una presencia más modesta en este aspecto. Estos datos reflejan la importancia y la contribución significativa de las empresas mencionadas en el contexto de la retribución por operador.

8.6 Flota y Maquinaria

La determinación de la flota necesaria para la recolección y transporte de residuos sólidos ordinarios se basa en varios criterios que se detallan a continuación:

Toneladas diarias por recolectar: Se establece un número específico de toneladas que deben recolectarse, el cual se calcula a partir de las proyecciones de producción de residuos utilizadas en el cálculo de las tarifas. Para determinar la flota necesaria, se toma el promedio de las toneladas recolectadas diariamente durante el último año de operación, garantizando así una capacidad instalada que cubra la demanda del servicio desde el comienzo hasta el final de la operación.

8.6.1 Toneladas por tipo de vehículo

Considerando la capacidad de carga de cada camión recolector y el número estimado de viajes diarios por unidad (generalmente 2), de acuerdo con los resultados de las premisas de productividad de la flota, se calcula la cantidad de toneladas que cada vehículo puede recolectar diariamente, regularmente se utilizan vehículos entre 16 yardas³ y 25 yardas³.

8.6.2 Porcentaje de distribución de la flota

Se ajusta este porcentaje hasta encontrar el número óptimo de cada tipo de vehículo que maximice la capacidad de la flota, minimizando la diferencia entre la capacidad de recolección y la producción diarias de residuos.

8.6.3 Unidades de relevo

Se establece una unidad de relevo por cada 10 unidades de la flota principal, para cada tipo de vehículo. Estas unidades de relevo son necesarias para mantener la continuidad del servicio en caso de averías o mantenimiento de los vehículos principales.

8.6.4 Capacidad de recolección

Con los datos anteriores, se calcula la cantidad de toneladas que se pueden recolectar con cada tipo de vehículo y la suma total de toneladas que puede recolectar la flota seleccionada.

Los resultados de la estimación de la flota se presentan a continuación (Tabla 9):

Tabla 9. Especificaciones de los equipos recolectores

Capex	Cantidad	Precio Unitario ³	Valor Total
Vehiculos Compactadores	129	9	117498
<i>Sencillo</i>	34	\$ 722,00	\$ 24.548,00
<i>Dobletroque</i>	65	\$ 950,00	\$ 61.750,00
<i>Doble Ampliroll</i>	30	\$ 1.040,00	\$ 31.200,00
Maquinas barredoras	16	\$ 400,00	\$ 6.400,00
Equipos (Biciclos)	940	\$ 1,00	\$ 470,00
Insumos	940	\$ 0,00	\$ 28,00
Total Capex			\$ 124.396,00

Nota. Elaboración propia, 2024.

Algunos detalles técnicos asociados a la flota son:

1. **Vehículos compactadores sencillo:** Algunas de sus características son:
Bajo nivel de ruido, peso reducido, lo que se traduce en ahorro de

³ Cantidad expresada en miles de millones de pesos colombianos.

combustible; fácil circulación en calles estrechas, pueblos y comunidades pequeñas; los componentes para su operación se encuentran en una ubicación de fácil acceso; posee sistema de recolección de lixiviados (ver Figura 12).

Figura 12. Compactador sencillo



Nota. Tomado de <https://www.ninoxcorp.com/compactadores/> , 2024.

Maquinas barredoras de calles: Algunas de sus características son: para montar sobre diferentes marcas de chasis; tolva de almacenamiento de 5 m³, 6.5 m³, 8 m³; capacidades de carga para chasises PBV 10 a 18 t; velocidad de tránsito hasta de 80 km/h; Corta distancia entre ejes para mayor maniobrabilidad; bajos costos de operación y mantenimiento; operación fácil y segura; bajo consumo de combustible y agua; cumplimiento de normas PM 10, PM 2.5, 4-Star, barrido limpio; bajo nivel de ruido; diseño robusto para trabajo pesado (ver figura 13).

Figura 13.Maquina barredora de calles



Nota. Tomado de <https://www.ramonerre.com/producto/barredoras-de-calles-johnston-vt-502-vt-652-vt802/>, 2024.

Así, de acuerdo con la Tabla 7, se estima que la inversión necesaria alcanza un total de \$124.396 millones de pesos. De esta cifra, \$117.498 millones de pesos se destinarán a la adquisición de vehículos compactadores, mientras que \$6.400 millones de pesos se destinarán a la compra de barredoras. La inversión en vehículos compactadores, con una asignación de \$117.498 millones, representa la mayor proporción del presupuesto total. Estos vehículos desempeñan un papel fundamental en la recolección eficiente y adecuada de los residuos sólidos ordinarios. Su adquisición contribuirá a garantizar una capacidad de recolección óptima y una gestión eficaz de los residuos.

Por otro lado, se destinarán \$6.400 millones de pesos a la compra de maquinarias para el barrido mecánico. Estas maquinarias desempeñan un papel importante en las tareas de barrido y limpieza de las áreas urbanas, contribuyendo así a mantener un entorno limpio y ordenado. La inversión en maquinarias barredoras tiene como

objetivo mejorar la eficiencia en las labores de limpieza y garantizar un adecuado mantenimiento de las vías y espacios públicos.

En conjunto, estas inversiones representan un compromiso significativo en términos de recursos financieros. Sin embargo, son esenciales para asegurar una prestación eficiente y de calidad del servicio de aseo. Mediante la adquisición de vehículos compactadores y maquinarias barredoras, se busca optimizar las operaciones, mejorar la gestión de los residuos y promover un entorno saludable para los habitantes de Santiago de Cali.

OPEX: Este se refiere a los gastos que una empresa incurre en sus operaciones diarias, es decir, aquellos costos necesarios para que la empresa funcione y mantenga su cadena de producción. Esto incluye gastos como salarios de los empleados, suministros, alquiler de oficinas, costos de electricidad y otros costos relacionados con la producción y ventas de productos o servicios. Es un término financiero de uso común en las empresas y se refiere a los costos recurrentes y necesarios para que una empresa se mantenga en funcionamiento.

En promedio, los costos mensuales son aproximadamente \$217 millones para el año 2024. Cabe mencionar que ninguno de estos rubros incluye los costos asociados al personal que dada su relevancia se presentan a continuación de forma independiente.

Nómina

A partir de la información cuantitativa sobre toneladas, metros cuadrados y kilómetros, junto con los requerimientos técnicos, se determinan las necesidades de personal mediante una distribución típica de cargos.

Es importante destacar que el cálculo de los costos de personal se realiza de acuerdo con lo establecido por el código de trabajo y la normativa vigente en relación con el pago de beneficios como auxilio de transporte, vacaciones, primas

de servicio, recargos nocturnos, horas extras, parafiscales y dotaciones. Los valores utilizados para los cálculos son los siguientes: el salario mínimo de referencia es de \$1.160.000, el auxilio de transporte es de \$140.606 y se aplica un factor prestacional del 52,02%.

En este sentido, la nómina se divide en dos categorías principales: personal administrativo y personal operativo. El personal administrativo incluye cargos como el gerente, los subdirectores, supervisores y todos aquellos profesionales que desempeñen actividades administrativas, comerciales, financieras o de gestión social. A continuación, se presentan los resultados de la estimación de la nómina administrativa, detallando los cargos, el número de personas y las respectivas asignaciones salariales (ver tabla 10)

Tabla 10.Nómina Administrativa

Cargo	Cantidad	Salario	Salario mes	Salario Año	Gasto Personal
Subdirectores	3	\$8.500.000,00	\$25.500.000,00	\$306.000.000,00	\$344.832.289,00
Asesor jurídico	3	\$7.000.000,00	\$21.000.000,00	\$252.000.000,00	\$344.832.289,00
Director financiero	3	\$10.000.000,00	\$30.000.000,00	\$360.000.000,00	\$492.617.556,00
Director Administrativo	1	\$10.000.000,00	\$10.000.000,00	\$120.000.000,00	\$164.205.852,00
Administrativo y Talento Humano	9	\$5.000.000,00	\$45.000.000,00	\$540.000.000,00	\$738.926.334,00
Supervisión comercial	2	\$6.750.000,00	\$6.750.000,00	\$81.000.000,00	\$164.205.852,00
Director Comercial	2	\$9.000.000,00	\$18.000.000,00	\$216.000.000,00	\$197.047.022,00

Gerente	1	\$15.400.000,0 0	\$15.400.000,00	\$184.800.000,00	\$229.503.120,00
Totales			\$171.650.000,0 0	\$2.059.800.000,0 0	\$2.676.170.314,0 0

Nota. Elaboración propia,2024.

En resumen, el costo mensual total de la nómina administrativa se aproxima a los \$172 millones, lo que equivale a \$2.059.800.000 anuales. Al tener en cuenta los costos adicionales de la carga prestacional, el monto total asciende a \$2.676 millones.

Por otro lado, el cálculo del personal operativo se realizó considerando las condiciones de productividad del personal, así como otros parámetros relacionados con la relación entre el tamaño de la flota y el personal requerido. A continuación, se presentan los resultados

Tabla 11.Nómina Operativa

Cargo	Cantidad	Salario	Salario mes	Salario año	Gasto personal
Supervisor operativo	9,00	\$3.000.000,0 0	\$27.000.000,0 0	\$324.000.000,0 0	\$443.355.800,0 0
Totales			\$27.000.000,0 0	\$324.000.000,0 0	\$443.355.800,0 0

Nota. Elaboración propia,2024.

La estructura de costos del personal muestra que el personal operativo representa alrededor del 14% del total de los costos de personal, mientras que el personal administrativo constituye aproximadamente el 86% restante. Esto indica que la mayor parte de los recursos destinados al personal se asignan a funciones administrativas y de gestión.

En promedio, los costos mensuales totales de personal ascienden a \$191,4 millones. Extrapolando este valor al año, se estima que el gasto anual en nómina

alcanza cerca de \$3.119 millones, teniendo en cuenta los costos asociados a la carga prestacional. Es importante considerar que estos montos incluyen tanto los salarios como los beneficios adicionales establecidos por la legislación laboral. Finalmente, una posible estructura organización para el modelo de negocios para la prestación del servicio de recolección y disposición de RS en la ciudad de Cali, se presenta en la Figura 14.

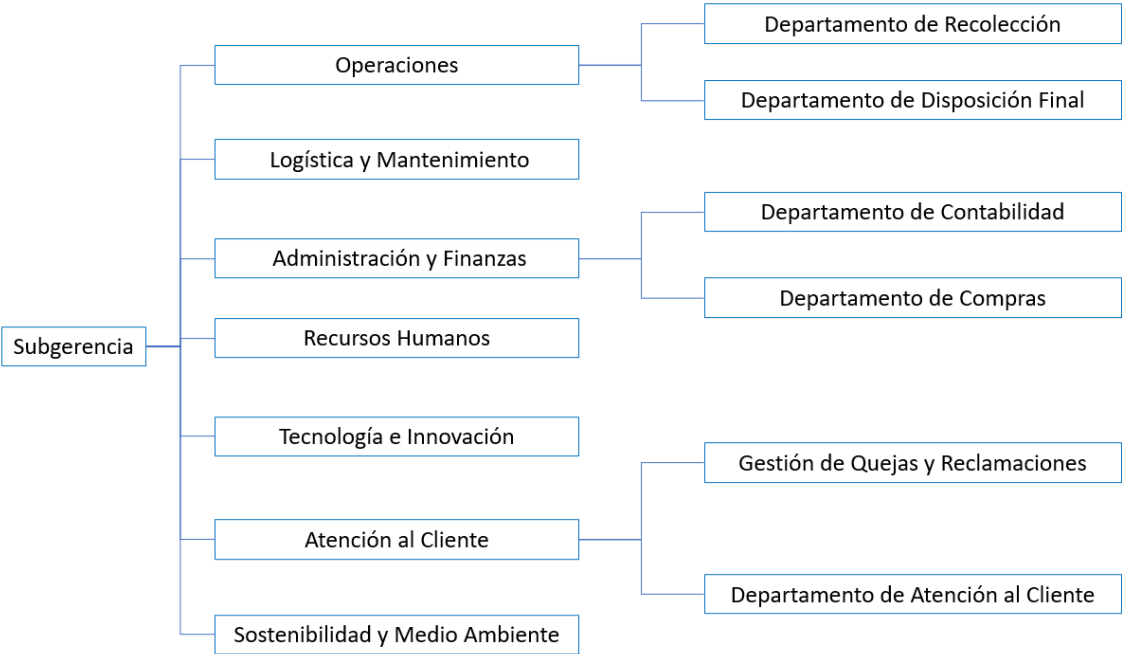
Figura 14.Esquema Organizacional General



Nota. Elaboración propia,2024.

Ahora bien, la conformación de las subgerencias se presenta en la Figura 15

Figura 15. Estructura organizacional de las subgerencias



Nota. Elaboración propia,2024.

La importancia y necesidad de una estructura organizacional técnico-administrativa radica en la complejidad y responsabilidad inherentes a esta actividad. Una estructura organizacional bien definida asegura la eficiencia operativa, el cumplimiento de las normativas ambientales y laborales, y la satisfacción de los usuarios del servicio. Este tipo de estructura permite una clara delineación de funciones y responsabilidades, lo que facilita la coordinación entre departamentos, la asignación de recursos y la toma de decisiones informadas. La división en subgerencias específicas, como operaciones, logística, administración y finanzas, recursos humanos, tecnología, atención al cliente y sostenibilidad, garantiza que cada aspecto del servicio esté bajo supervisión especializada. Esto es crucial en un entorno urbano como Cali, donde la densidad poblacional y las condiciones geográficas presentan retos significativos para la gestión de residuos.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

A partir de la realización del presente proyecto de grado, se puede concluir que:

- I. La implementación de la lógica difusa en el manejo de desechos sólidos en Santiago de Cali ha demostrado ser viable y efectiva tanto desde un punto de vista técnico como ambiental. Los datos recopilados respaldan la idea de que la infraestructura actual es perfectamente apta para adoptar este enfoque, lo cual permite reducir el impacto en el medio ambiente y optimizar el uso de recursos financieros. La participación activa de la comunidad ha sido fundamental en todo este proceso, destacando la importancia de concienciar y fomentar la colaboración de los habitantes en la gestión de residuos sólidos en la ciudad. Este modelo ha generado resultados impactantes y ha sentado las bases para un futuro más sostenible en cuanto a la limpieza y cuidado del entorno urbano.
- II. La evaluación de la factibilidad de la recolección de residuos sólidos en Santiago de Cali es un paso fundamental para garantizar la sostenibilidad ambiental y el bienestar de la comunidad. Es crucial determinar la viabilidad de implementar este servicio en la ciudad, ya que impactará directamente en la calidad de vida de sus habitantes. A través de un análisis detallado y exhaustivo de aspectos técnicos, ambientales, económicos y sociales, se podrá evaluar la posibilidad de llevar a cabo este proyecto de manera exitosa, considerando todos los factores involucrados y buscando soluciones innovadoras que contribuyan al desarrollo sostenible de la región.
- III. La evaluación económica de la recolección de residuos sólidos en Cali es esencial para determinar si el proyecto es financieramente viable. Además de examinar los costos operativos y los recursos financieros necesarios, también se deben tener en cuenta los posibles beneficios económicos a largo

plazo, como la generación de ingresos a través del reciclaje de residuos. Es crucial llevar a cabo un análisis exhaustivo de todos los aspectos económicos involucrados para asegurar la sostenibilidad financiera del sistema de recolección de residuos y garantizar su éxito a largo plazo. En este sentido, es fundamental considerar también el impacto ambiental y social de la gestión de residuos, así como la optimización de los procesos de reciclaje y tratamiento de los desechos. Adicionalmente, resulta imprescindible promover la educación ambiental y la participación ciudadana en la separación adecuada de los residuos, con el fin de fomentar una cultura de reducción, reutilización y reciclaje en la comunidad. Solo a través de un enfoque integral y colaborativo se podrá lograr una gestión efectiva de los residuos sólidos en Cali, beneficiando tanto al medio ambiente como a la economía local.

- IV. En la evaluación técnica para la recolección de residuos sólidos en Cali, se deben considerar aspectos clave que contribuyan a mejorar el servicio. Entre ellos se encuentran la capacidad operativa de los vehículos de recolección, la infraestructura óptima de almacenamiento, los horarios de recolección estratégicos y la eficiencia en las rutas establecidas. Es esencial asegurar que se disponga del equipo adecuado y se apliquen medidas que perfeccionen el proceso de recolección de residuos, garantizando la seguridad y la eficacia en todo momento.
- V. La evaluación ambiental en la recolección de residuos sólidos en Santiago de Cali es un proceso fundamental que busca garantizar la sostenibilidad ambiental y el bienestar de la población. Además de abordar la gestión adecuada de los desechos, también se deben considerar medidas para reducir los impactos negativos en el entorno, como la implementación de prácticas de reciclaje y reutilización. Es crucial evaluar de manera exhaustiva el manejo de residuos peligrosos, asegurando su correcta clasificación, almacenamiento y transporte para evitar posibles riesgos para la salud y el medio ambiente. Asimismo, la disposición final de los residuos debe

realizarse de acuerdo con las normativas ambientales vigentes, evitando la contaminación del suelo, agua y aire. Además, es fundamental fomentar la educación ambiental y concienciar a la población sobre la importancia de la separación de residuos y el consumo responsable. Promover prácticas sostenibles en la recolección de residuos sólidos no solo beneficia al medio ambiente, sino que también contribuye a la generación de empleo verde y al desarrollo económico sostenible de la región.

9.2 Recomendaciones

Dentro del mismo proceso de estructuración contractual se pueden proponer algunos aspectos de mejora que podrían contribuir significativamente a aumentar la eficiencia comercial del servicio de aseo. A continuación, se presentan las formas en las cuales se podrían mejorar considerablemente la eficiencia comercial:

Se puede solicitar la inclusión de indicadores de gestión en la propuesta técnica y en el diseño del reglamento técnico operativo a partir de herramientas gerenciales para medir y evaluar el desempeño del servicio de aseo. Estos indicadores deben abarcar variables operacionales clave, como la calidad del servicio, el cumplimiento de tiempos de entrega, la satisfacción del cliente y la eficiencia en el uso de recursos. Además, se recomienda desarrollar nuevos indicadores que permitan medir otras variables relevantes y reflejar el mejoramiento continuo en la prestación del servicio, para ello es fundamental el análisis de datos a partir de servicios tecnológicos actualizados para la captura, gestión y visualización de estos datos.

Además, deben establecer estándares claros y normalizados en las mediciones y seguimiento de aspectos operacionales del servicio de aseo. Esto incluye definir criterios para tipos de superficie, cantidad de metros cuadrados, consumos de insumos y tiempos de proceso. La normalización permitirá una evaluación objetiva y comparativa de los resultados en cada una de las empresas que prestan el servicio, lo cual facilitará la identificación de oportunidades de mejora.

Finalmente es muy importante que dentro del reglamento técnico y operativo se definan algunos lineamientos para el proceso de optimización de los recursos disponibles en el servicio de aseo. Esto implica gestionar eficientemente los insumos, como productos de limpieza y materiales, para reducir costos y evitar desperdicios. Asimismo, se debe maximizar la eficiencia del recurso humano, brindando capacitación continua, estableciendo programas de mejoramiento y estableciendo mecanismos de control que permitan un seguimiento cercano de las áreas de trabajo operacionales.

Con relación a los aspectos asociados a la redistribución de los ingresos, se deben considerar:

1. Facturación y recaudo: El operador de aseo debe entender los esquemas de facturación y recaudo mencionados en los documentos. En particular, debe comprender cómo se calculan las tarifas, cómo se realiza la facturación conjunta con otros servicios públicos, y cómo se garantiza el recaudo de los pagos. La facturación conjunta es fundamental para la prestación del servicio público de aseo porque le garantiza a las empresas prestadoras de este servicio el recaudo de la facturación.
2. Conocimiento de la normatividad: El operador debe estar familiarizado con las leyes y decretos que rigen el Fondo de Solidaridad y Redistribución de Ingresos, incluyendo la Ley 142 de 1994, el Decreto 2981 de 2013, y la Resolución CRA 720 de 2015, entre otros.
3. Comprensión de la naturaleza del Fondo: El operador debe entender que el Fondo de Solidaridad y Redistribución de Ingresos es un mecanismo de solidaridad que busca garantizar la prestación de los servicios públicos a los usuarios de menores ingresos, a través de la redistribución de los ingresos generados por los usuarios de mayores ingresos.
4. Relación con los usuarios: El operador debe ser consciente de que la relación con los usuarios es un contrato de servicios públicos o de condiciones

uniformes, y que los usuarios tienen el derecho de dar por terminado este contrato de manera anticipada bajo ciertas condiciones.

5. Gestión de la información: El operador debe seguir una metodología clara y lógica para la actualización y administración del catastro de usuarios, tal como la recomendada por el MAVDT, que permita tener una base de datos actualizada de los usuarios y facilitar la elaboración de un plan de acción que mejore la gestión empresarial.

10. ANEXOS

10.1 Anexo A: Ventajas y desventajas de contratación de operadores

Ventajas	Desventajas
Prestador fortalecido con experiencia en otros servicios y con capacidad organizacional para fungir como contratante.	Se requiere estructurar un contrato de concesión/operación y para esto se requiere un esfuerzo institucional y un compromiso estratégico por parte de Emcali.
Tiene capacidad jurídica de acuerdo con su objeto para prestar el servicio público de aseo	El mercado estaría en libre competencia con descreme del mercado.
Se terceriza la operación con prestadores con experiencia reconocida en el sector de aseo.	Se requiere la creación de una Gerencia de Supervisión de Aseo con sus respectivas áreas y funciones.
Se generan obligaciones de resultado a cargo de los operadores de aseo en el marco del contrato.	Se tiene el riesgo de que no exista apetito en el mercado para entrar en nuevos contratos de concesión, bajo el entendido que, a la fecha, existen incumbentes con alta experiencia local e internacional.
Se podría contratar una interventoría fuerte para la vigilancia de los Contratos.	Incertidumbre frente a la posibilidad de obtener un R –esto depende de: (i) apetito del mercado (ii) del modelo financiero y proceso competitivo.

10.2 Anexo B: Capacidad Operativa y Cantidad de Operarios

Vehiculos	Operador				Total
	PromoCali	Veolia	PromoValle	Ciudad Limpia	
Compactador 16 y^3	0	22	0	6	28
Compactador 17 y^3	2	0	4	0	6
Compactador 20 y^3	11	0	13	0	24
Compactador 25 y^3	10	6	8	13	37
Compactador 28 y^4	0	2	0	0	2
Volqueta 8,5 m^3	0	2	0	0	2
Volqueta 11 m^3	2	0	2	0	4
Volqueta 18 m^3	0	0	3	0	3
Ampliroll 15 y^3	2	0	0	0	2
Ampliroll 16,8 y^3	0	1	0	0	1
Ampliroll 17 y^3	0	0	0	2	2
Ampliroll 21 y^3	3	0	2	0	5
Furgón	3	0	0	0	3
Vehículo satélite 2 y^3	0	0	0	12	12
Barredora	1	3	1	4	9
Mnicargador	1	2	2	2	7
TOTAL	35	38	35	39	147

10.3 Anexo C: Datos normalizados para las variables de entrada

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
0.44736842 10526313	0.97457627 11864406	0.2 5	0.51090909 09090913	1.0	0.28571428 57142857	1 . 0	0.10526315 789473684	0.0	0.22382671 480144403
0.26315789 473684204	0.94915254 23728813	0.5	0.71818181 81818187	0.99272727 27272741	0.28571428 57142857	1 . 0	0.10526315 789473684	0.0	0.22743682 310469315
0.44736842 10526313	1.0	0.0	0.51090909 09090913	0.96272727 27272704	0.28571428 57142857	1 . 0	0.10526315 789473684	0.41666666 66666669	0.22021660 649819494
0.52631578 94736841	0.93220338 98305084	0.5	0.42636363 636363617	0.48818181 81818186	0.28571428 57142857	1 . 0	1.0	0.83333333 33333338	0.22743682 310469315

0.65789473684 21051	0.93220338 98305084	0. 5	0.28909090 909090973	0.48818181 81818186	0.2857142 857142857	1 . 0	1.0	0.8333333 333333338	0.22743682 310469315
0.65789473684 21051	0.93220338 98305084	0. 5	0.28909090 909090973	0.48818181 81818186	0.2857142 857142857	1 . 0	1.0	0.8333333 333333338	0.22743682 310469315
0.76315789473 68416	0.88983050 84745762	0. 5	0.18363636 363636457	0.48818181 81818186	1.0	0 . 5	1.0	0.0	0.22743682 310469315
0.78947368421 05262	0.88983050 84745762	0. 5	0.18363636 363636457	0.48818181 81818186	1.0	0 . 5	1.0	0.1666666 666666669	0.22743682 310469315
0.65789473684 21051	0.88983050 84745762	0. 5	0.18363636 363636457	0.48818181 81818186	1.0	0 . 5	1.0	0.0	0.22743682 310469315
0.71052631578 94733	0.04237288 13559322	0. 5	0.23636363 636363586	0.93272727 27272718	0.0	1 . 0	1.0	0.4166666 666666669	0.22743682 310469315
0.78947368421 05262	0.04237288 13559322	0. 5	0.15818181 8181819	0.90181818 18181833	0.0	1 . 0	1.0	0.4166666 666666669	0.22743682 310469315

0.52631578947 36841	0.04237288 13559322	0. 5	0.42636363 636363617	0.96272727 27272704	0.0	1 . 0	1.0	0.4166666 666666669	0.33212996 389891697
0.89473684210 52626	0.08474576 27118644	0. 7 5	0.05727272 727272686	0.93272727 27272718	0.0	1 . 0	0.26315789 47368421	0.4166666 666666669	0.33212996 389891697
1.0	0.08474576 27118644	0. 7 5	0.0	0.90181818 18181833	0.0	1 . 0	0.26315789 47368421	0.4166666 666666669	0.33212996 389891697
0.92105263157 89472	0.08474576 27118644	0. 7 5	0.03272727 2727273965	0.96272727 27272704	0.0	1 . 0	0.26315789 47368421	0.4166666 666666669	0.33212996 389891697
0.78947368421 05262	0.16949152 54237288	0. 7 5	0.15818181 8181819	0.04363636 363636529	0.2857142 857142857	0 . 5	0.0	0.0	0.33212996 389891697
0.71052631578 94733	0.16949152 54237288	0. 7 5	0.23636363 636363586	0.01363636 363636157	0.2857142 857142857	0 . 5	0.0	0.0	0.33212996 389891697
0.78947368421 05262	0.16949152 54237288	0. 7 5	0.15818181 8181819	0.04363636 363636529	0.2857142 857142857	0 . 5	0.0	0.0	0.33935018 050541516
0.39473684210 52631	0.0	0. 2 5	0.56909090 90909083	0.57727272 72727294	0.0	1 . 0	0.0	0.0	0.33935018 050541516
0.60526315789 4737	0.12711864 40677966	0. 5	0.34363636 363636374	0.04363636 363636529	1.0	1 . 0	0.0	0.8333333 333333338	0.33935018 050541516
0.78947368421 05262	0.12711864 40677966	0. 5	0.15818181 8181819	0.07272727 272727376	1.0	1 . 0	0.0	0.4166666 666666669	0.33212996 389891697
0.52631578947 36841	0.12711864 40677966	0. 5	0.42636363 636363617	0.04363636 363636529	1.0	1 . 0	0.0	0.8333333 333333338	0.95444043 32129963
0.34210526315 789486	0.21186440 6779661	1. 0	0.62818181 81818178	0.45818181 818182	0.2857142 857142857	0 . 0	0.26315789 47368421	0.8333333 333333338	0.97046931 40794224
0.52631578947 36841	0.21186440 6779661	1. 0	0.42636363 636363617	0.47000000 000000147	0.2857142 857142857	0 . 0	0.26315789 47368421	0.4166666 666666669	1.0

0.34210526315789486	0.21186440 6779661	1. 0	0.62818181 81818178	0.43454545 454545207	0.2857142 857142857	0 . 0	0.26315789 47368421	1.0	0.98989169 67509025
0.0	0.21186440 6779661	1. 0	1.0	0.45818181 818182	1.0	0 . 0	0.26315789 47368421	0.8333333 333333338	1.0
0.13157894736842102	0.21186440 6779661	1. 0	0.87272727 27272722	0.47000000 000000147	1.0	0 . 0	0.26315789 47368421	0.4166666 666666669	0.99249097 4729242
0.0	0.21186440 6779661	1. 0	1.0	0.43454545 454545207	1.0	0 . 0	0.26315789 47368421	0.8333333 333333338	0.98245487 36462093
0.10526315789473645	0.46610169 49152542	0. 0	0.90545454 54545462	0.13181818 181818078	0.2857142 857142857	0 . 5	0.0	0.8333333 333333338	0.99241877 25631768
0.21052631578947384	0.46610169 49152542	0. 0	0.77909090 90909085	0.14363636 36363622	0.2857142 857142857	0 . 5	0.0	0.8333333 333333338	0.95444043 32129963
0.10526315789473645	0.46610169 49152542	0. 0	0.90454545 45454535	0.11999999 999999938	0.2857142 857142857	0 . 5	0.0	0.8333333 333333338	0.95891696 75090253
0.5263157894736841	0.25423728 81355932	0. 5	0.42636363 636363617	0.04363636 363636529	0.2857142 857142857	0 . 5	0.10526315 789473684	0.4166666 666666669	0.00722021 6606498195
0.4736842105263159	0.25423728 81355932	0. 5	0.48272727 272727295	0.07272727 272727376	0.2857142 857142857	0 . 5	0.10526315 789473684	0.4166666 666666669	0.01444043 321299639
0.605263157894737	0.25423728 81355932	0. 5	0.34363636 363636374	0.01363636 363636157	0.2857142 857142857	0 . 5	0.10526315 789473684	0.4166666 666666669	0.01444043 321299639
0.605263157894737	0.50847457 62711864	0. 5	0.34363636 363636374	0.04363636 363636529	1.0	0 . 5	0.0	0.4166666 666666669	0.01444043 321299639
0.5263157894736841	0.50847457 62711864	0. 5	0.42636363 636363617	0.0	1.0	0 . 5	0.0	0.4166666 666666669	0.0
0.5263157894736841	0.50847457 62711864	0. 5	0.42636363 636363617	0.05545454 545454669	1.0	0 . 5	0.0	0.4166666 666666669	0.01083032 4909747292

0.4473684210526313	0.50847457 62711864	0. 5	0.51090909 09090913	0.07272727 272727376	1.0	0 . 5	0.0	0.4166666 666666669	0.01083032 4909747292
0.5263157894736841	0.04237288 13559322	0. 0	0.42636363 636363617	0.54818181 81818157	0.0	1 . 0	0.0	0.4166666 666666669	0.01083032 4909747292
0.4736842105263159	0.02542372 8813559306	0. 0	0.48272727 272727295	0.57727272 72727294	0.0	1 . 0	0.0	0.0	0.01805054 1516245487
0.868421052631579	0.55084745 76271186	0. 7 5	0.08181818 181818233	0.93272727 27272718	1.0	1 . 0	0.10526315 789473684	0.4166666 666666669	0.01805054 1516245487
0.868421052631579	0.55084745 76271186	0. 7 5	0.08181818 181818233	0.93272727 27272718	1.0	1 . 0	0.10526315 789473684	0.4166666 666666669	0.01805054 1516245487
0.7894736842105262	0.55084745 76271186	0. 7 5	0.15818181 8181819	0.96272727 27272704	1.0	1 . 0	0.10526315 789473684	0.4166666 666666669	0.01805054 1516245487
0.736842105263158	0.55084745 76271186	0. 7 5	0.21000000 000000021	0.91454545 45454548	1.0	1 . 0	0.10526315 789473684	0.4166666 666666669	0.01805054 1516245487

REFERENCIAS

- Álvarez Díaz, M., González Gómez, M., Saavedra González, Á., & De Uña Álvarez, J. (2010). On dichotomous choice contingent valuation data analysis: Semiparametric methods and Genetic Programming. *Journal of Forest Economics*, 16(2), 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2009.02.002>
- Andrée, B. P. J., Chamorro, A., Spencer, P., Koomen, E., & Dogo, H. (2019). Revisiting the relation between economic growth and the environment; a global assessment of deforestation, pollution and carbon emission. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114(June), 109221. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.028>
- Bicknell, K. B., Ball, R. J., Cullen, R., & Bigsby, H. R. (1998). New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological Economics*, 27(2), 149–160. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00136-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00136-5)
- Bockstaller, C., Beauchet, S., Manneville, V., Amiaud, B., & Botreau, R. (2017). A tool to design fuzzy decision trees for sustainability assessment. *Environmental Modelling & Software: With Environment Data News*, 97, 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.07.011>
- Borzykowski, N., Baranzini, A., & Maradan, D. (2018). Scope effects in contingent valuation: Does the assumed statistical distribution of WTP matter? *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, 144, 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.09.005>
- Bottazzi, P., Wiik, E., Crespo, D., & Jones, J. P. G. (2018). Payment for environmental “self-service”: Exploring the links between farmers’ motivation and additionality in a conservation incentive programme in the Bolivian Andes. *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, 150, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.03.032>
- Castro, V., & Rojas, C. S. (2019). *Valoración ecológica y económica del Parque Universitario Francisco Vivar Castro , Loja , Ecuador Ecological and economic valuation of the Francisco*. 26(1), 305–324.
- De Pilli, T. (2022). Application of fuzzy logic system for the pizza production processing optimisation. *Journal of Food Engineering*, 319(110906), 110906. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110906>

- Dulanto Cuadros, M. H. (2000). Valoración económica de áreas naturales protegidas y recursos marino-costeros. *Valoración Económica de La Diversidad Biológica y Servicios Ambientales En El Perú*, 169–348. <http://humboldt.iwlearn.org/es/informacion-y-publicacion/IRGvaloracionANPyrecursosmarinocosterosCuadros.pdf>
- Fomin, A. (2019). Strategic innovative technologies control Strategic innovative city Strategic innovative. *IFAC PapersOnLine*, 52(25), 421–423. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.574>
- Garry Kasparov had a chess showdown with IBM's AI long before ChatGPT - *The Washington Post*. (n.d.). Retrieved June 19, 2023, from <https://www.washingtonpost.com/history/2023/05/22/garry-kasparov-chess-deep-blue-ibm/>
- Gómez-Gutiérrez, A., Miralles, M. J., Corbella, I., García, S., Navarro, S., & Llebaria, X. (2016). La calidad sanitaria del agua de consumo. *Gaceta Sanitaria*, 30, 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.04.012>
- Grizzetti, B., Liqueste, C., Pistocchi, A., Vigiak, O., Zulian, G., Bouraoui, F., De Roo, A., & Cardoso, A. C. (2019). Relationship between ecological condition and ecosystem services in European rivers, lakes and coastal waters. *Science of the Total Environment*, 671, 452–465. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.155>
- Guillaume, S., & Charnomordic, B. (n.d.). *Fuzzy inference systems: An integrated modeling environment for collaboration between expert knowledge and data using FisPro*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.206>
- Guillaume, S., & Charnomordic, B. (2011). Learning interpretable fuzzy inference systems with FisPro. *Information Sciences*, 181(20), 4409–4427. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2011.03.025>
- Hargreaves, A. J., Farmani, R., Ward, S., & Butler, D. (2019). Modelling the future impacts of urban spatial planning on the viability of alternative water supply. *Water Research*, 162, 200–213. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.029>

- Kangas, J., & Ollikainen, M. (2019). Economic Insights in Ecological Compensations: Market Analysis With an Empirical Application to the Finnish Economy. *Ecological Economics*, 159(November 2018), 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.003>
- Machín Hernández, M., Hernández Santoyo, A., Casas Vilardell, M., & León Sánchez, M. (2010). Enfoque de la valoración económica ambiental en áreas protegidas. Su aplicación en el Parque Nacional Viñales, República de Cuba. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 3(8), 12.
- Matutinović, I. (2002). Organizational patterns of economies: an ecological perspective. *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, 40(3), 421–440. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(02\)00007-1](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(02)00007-1)
- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1–13.
- Mullin, K., Mitchell, G., Nawaz, N. R., & Waters, R. D. (2018). Natural capital and the poor in England: Towards an environmental justice analysis of ecosystem services in a high income country. *Landscape and Urban Planning*, 176(April), 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.022>
- Ortega Márquez, M., & Márquez Fernández, O. (2017). Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz. *Revista Mexicana de Opinión Pública*, 23(23), 41. <https://doi.org/10.22201/fcpys.24484911e.2017.23.58515>
- Osna, T., Sezer, E. A., & Akgun, A. (2014). GeoFIS: An integrated tool for the assessment of landslide susceptibility. *Computers & Geosciences*, 66, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.12.016>
- Pritchard, R., Grundy, I. M., van der Horst, D., & Ryan, C. M. (2019). Environmental incomes sustained as provisioning ecosystem service availability declines along a woodland resource gradient in Zimbabwe. *World Development*, 122, 325–338. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.05.008>
- Rajaram, T., & Das, A. (2010). Modeling of interactions among sustainability components of an agro-ecosystem using local knowledge through cognitive mapping and fuzzy

inference system. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1734–1744.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.035>

Saavedra Díaz, Z. M., & Perevochtchikova, M. (2017). Evaluación ambiental integrada de áreas inscritas en el programa federal de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos. Caso de estudio: Ajusco, México. *Investigaciones Geograficas*, 2017(93), 76–94. <https://doi.org/10.14350/riq.56437>

Sharma, S. K., Baral, H., Laumonier, Y., Okarda, B., Komarudin, H., Purnomo, H., & Pacheco, P. (2019). Ecosystem services under future oil palm expansion scenarios in West Kalimantan, Indonesia. *Ecosystem Services*, 39(100978), 100978.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100978>

Sousa, P., Gomes, D., & Formigo, N. (2020). Ecosystem services in environmental impact assessment. *Energy Reports*, 6, 466–471.
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.09.009>

Sugeno, M. (1985). *Industrial applications of fuzzy control*. Elsevier Science Inc.

Zimmermann, H.-J. (2014). *Fuzzy set theory-and its applications* (3a ed.). Springer.

Zhou, J., & Zhang, Q. (2011). Research on the environmental protection performance management system structure of Party & government leaders at the county and city levels based on the planning of Poyang Lake Ecological Economy Zone. *Procedia Environmental Sciences*, 10(PART C), 2659–2664.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.413>