

# CONTRIBUCIÓN A LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN CANTONES DEL ECUADOR



**Alcocer-Quinteros, Rubén Patricio  
Knudsen-González, José A.  
Marrero-Delgado, Fernando**



# **Contribución a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en cantones del Ecuador.**

## **Autor/es:**

**Alcocer-Quinteros, Rubén Patricio**

*Universidad Técnica Estatal de Quevedo*

**Knudsen-González, José A.**

*Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas*

**Marrero-Delgado, Fernando**

*Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas*



#### Datos de Catalogación Bibliográfica

Alcocer-Quinteros, R. P.  
Knudsen-González, J. A.  
Marrero-Delgado, F.

**Contribución a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en cantones del Ecuador.**

Editorial Grupo AEA, Ecuador, 2024  
ISBN: 978-9942-651-35-8  
Formato: 210 cm X 270 cm

220 págs.



#### Publicado por Editorial Grupo AEA

Ecuador, Santo Domingo, Vía Quinindé, Urb. Portón del Río.

**Contacto:** +593 983652447; +593 985244607

**Email:** [info@editorialgrupo-aea.com](mailto:info@editorialgrupo-aea.com)

<https://www.editorialgrupo-aea.com/>

<b>Director General:</b>	<i>Prof. César Casanova Villalba.</i>
<b>Editor en Jefe:</b>	<i>Prof. Giovanni Herrera Enríquez</i>
<b>Editora Académica:</b>	<i>Prof. Maybelline Jaqueline Herrera Sánchez</i>
<b>Supervisor de Producción:</b>	<i>Prof. José Luis Vera</i>
<b>Diseño:</b>	<i>Tnlgo. Oscar J. Ramírez P.</i>
<b>Consejo Editorial</b>	<i>Editorial Grupo AEA</i>

Primera Edición, 2024

D.R. © 2024 por Autores y Editorial Grupo AEA Ecuador.

Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No 708

**Disponible para su descarga gratuita en** <https://www.editorialgrupo-aea.com/>

*Los contenidos de este libro pueden ser descargados, reproducidos difundidos e impresos con fines de estudio, investigación y docencia o para su utilización en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca adecuadamente a los autores como fuente y titulares de los derechos de propiedad intelectual, sin que ello implique en modo alguno que aprueban las opiniones, productos o servicios resultantes. En el caso de contenidos que indiquen expresamente que proceden de terceros, deberán dirigirse a la fuente original indicada para gestionar los permisos.*

## Título del libro:

Contribución a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en cantones del Ecuador.

© Alcocer-Quinteros, Rubén Patricio; Knudsen-González, José A.; Marreno-Delgado, Fernando.

© Julio, 2024

Libro Digital, Primera Edición, 2024

Editado, Diseñado, Diagramado y Publicado por Comité Editorial del Grupo AEA, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, 2024

**ISBN: 978-9942-651-35-8**



<https://doi.org/10.55813/egaea.l.80>

## Como citar (APA 7ma Edición):

Alcocer Quinteros, R. P., Knudsen-González, J. A., Marrero-Delgado, F. (2024). *Contribución a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en cantones del Ecuador*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.80>

Cada uno de los textos de Editorial Grupo AEA han sido sometido a un proceso de evaluación por pares doble ciego externos (double-blindpaperreview) con base en la normativa del editorial.

## Revisores:

- |   |  |        |  |    |   |
|---|--|--------|--|----|---|
|  | Ing. Yaulilahua Maximiliano, Mgs.          | Huacho | Universidad Nacional Huancavelica – Perú | de |  |
|  | Ing. Palomino Pastrana Pedro Antonio, Mgs. |        | Universidad Nacional Huancavelica – Perú | de |  |



Los libros publicados por “**Editorial Grupo AEA**” cuentan con varias indexaciones y repositorios internacionales lo que respalda la calidad de las obras. Lo puede revisar en los siguientes apartados:



## Editorial Grupo AEA

 <http://www.editorialgrupo-aea.com>

 Editorial Grupo AeA

 editorialgrupoea

 Editorial Grupo AEA

## Aviso Legal:

La información presentada, así como el contenido, fotografías, gráficos, cuadros, tablas y referencias de este manuscrito es de exclusiva responsabilidad del/los autor/es y no necesariamente reflejan el pensamiento de la Editorial Grupo AEA.

## Derechos de autor ©

Este documento se publica bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).



El “copyright” y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de la Editorial Grupo AEA y sus Autores. Se prohíbe rigurosamente, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma de ninguna forma o por cualquier medio, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright, salvo cuando se realice confines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la editorial. Las opiniones expresadas en los capítulos son responsabilidad de los autores.



## RESEÑA DE AUTORES

**Alcocer Quinteros Rubén Patricio**

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

[palcocer@uteq.edu.ec](mailto:palcocer@uteq.edu.ec)<https://orcid.org/0000-0003-0366-5529>

Ingeniero Mecánico graduado de la Escuela Politécnica Nacional, con una carrera profesional destacada en diversas empresas. Comenzó en PÓRTICOS CÍA. CONSTRUCTORA en un proyecto de planta procesadora de astillas de eucalipto y luego trabajó en ALPACA INDUSTRIAL S.A. como supervisor de producción y jefe de mantenimiento. En INPRODAL CÍA LTDA supervisó el montaje de estructuras de acero y aluminio, y en PETROCHECK CÍA. LTDA supervisó un programa de cambio de válvulas de gas. Fue fiscalizador de obra en el CONSORCIO QUEVEDO S2ML y docente en la UTEQ desde 2000, donde también ayudó a crear la Facultad de Ciencias de Ingeniería y fue designado Decano en 2021. Posee dos diplomados, una especialidad en Estrategias de Marketing, una maestría en Marketing y un doctorado en Ciencias. Ha participado como ponente en eventos científicos y ha dirigido tesis de grado y posgrado.

**Knudsen González José A.**

Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas

[knudsen@uclv.edu.cu](mailto:knudsen@uclv.edu.cu)<https://orcid.org/0000-0002-6435-8728>

Graduado en 1984 como Ingeniero en Economía y Explotación del Transporte de Ciudades y Carreteras por la Universidad de Zilina, Eslovaquia, con un Máster en Gestión de Producción de la Universidad de Matanzas, Cuba (1997), y un Doctorado en Ciencias Técnicas de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba (2005). Profesor Titular en Logística y Gestión de Procesos en la UCLV desde 1988, ha sido Profesor Invitado en Nicaragua y México, y colaborador en la misión educativa de Venezuela (2009-2011). Ha participado en más de 25 investigaciones científicas en logística y gestión de transporte, dirige actualmente dos proyectos nacionales y ha publicado numerosas monografías, memorias, artículos y ha presentado en más de 40 eventos científicos. Ha asesorado a un Doctor en Ciencias, once Masters y 62 trabajos de Diploma. Ha recibido varios reconocimientos y es miembro activo de diversas sociedades profesionales y comités académicos, incluyendo la ANEC y la SIMEI.

# RESEÑA DE AUTORES

# AUTORES



**Marrero Delgado Fernando**



Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas



[fmarrero@uclv.edu.cu](mailto:fmarrero@uclv.edu.cu)



<https://orcid.org/0000-0002-5470-2572>



Graduado en 1991 como Ingeniero Industrial por la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Trabajó en la Empresa de Construcciones Mecánicas “Fabric Aguiar Noriega” y luego se unió como docente a su alma mater en 1992. Ha ocupado diversos cargos académicos, incluyendo Jefe de Cátedra, Jefe de Investigación, Vicedecano, Coordinador de Maestrías, Decano y Director General. Posee una Maestría en Informática Aplicada, un Doctorado en Ciencias Técnicas en Ingeniería Industrial, y diplomados en Administración Pública e Inteligencia Artificial. Ha sido profesor invitado en varias universidades internacionales, ha asesorado a 9 Doctores y 25 Másteres, y ha participado en la defensa de más de 220 trabajos académicos. Es miembro de varias organizaciones internacionales y ha publicado numerosos artículos científicos.

## Índice

Reseña de Autores .....	IX
Índice .....	XI
Índice de Tablas.....	XIII
Índice de Figuras .....	XIV
Introducción .....	XV
Capítulo I: Marco teórico referencial de la investigación.....	1
1.1. Residuos sólidos urbanos y su gestión .....	3
1.1.1. Residuos sólidos urbanos .....	4
1.1.2. Plantas de recuperación y reciclaje (técnicas de tratamiento de los residuos sólidos urbanos) .....	5
1.1.3. Gestión de los residuos sólidos urbanos .....	8
1.2. Necesidad del enfoque integral de las cadenas de suministro en la gestión de los residuos sólidos urbanos .....	10
1.2.1. Gestión de la cadena de suministros.....	11
1.2.2. Gestión de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos	13
1.2.3. Medición del desempeño integral con un enfoque de cadenas de suministro de los residuos sólidos urbanos .....	18
1.2.4. Herramientas metodológicas y matemáticas de la gestión de los residuos sólidos urbanos .....	21
1.3. Situación actual de los RSU en el Ecuador .....	31
1.3.1. Reglamento para el manejo de los residuos sólidos.....	31
1.3.2. Ordenanzas para la prevención y control de la contaminación ambiental del cantón Quevedo.....	33
1.3.3. Estudios sobre la gestión de residuos sólidos urbanos en el Ecuador	33
1.4. Conclusiones parciales .....	37

Capítulo II: Procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros ..... 39

Procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros ..... 41

    2.1. Concepción teórica del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros ..... 41

    2.2. Desarrollo de los procedimientos, general y específicos, para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros ..... 43

        2.2.1. Fase I. Planificar..... 45

        2.2.2. Fase II. Hacer..... 45

        2.2.3. Fase III. Comprobar ..... 73

        2.2.4. Fase IV. Actuar..... 74

    2.3. Conclusiones parciales ..... 74

Capítulo III: Aplicación del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros en el Cantón Quevedo ..... 77

Aplicación del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros en el Cantón Quevedo ..... 79

    3.1. Aplicación del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros en el Cantón Quevedo..... 79

        3.1.1. Fase I. Planificar..... 79

        3.1.2. Fase II. Hacer..... 81

        3.1.3. Fase III. Comprobar ..... 105

        3.1.4. Fase III. Actuar..... 110

3.2. Beneficios de la aplicación del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros del Cantón Quevedo .....	112
3.3. Conclusiones parciales .....	112
Capítulo IV: Conclusiones generales y Recomendaciones .....	115
4.1. Conclusiones generales.....	117
4.2. Recomendaciones .....	118
Referencias Bibliográficas.....	181

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación de los residuos sólidos urbanos</i> .....	5
<b>Tabla 2</b> <i>Investigaciones sobre modelos de gestión de residuos en general....</i>	25
<b>Tabla 3</b> <i>Investigaciones sobre de gestión de residuos sólidos urbanos</i> .....	26
<b>Tabla 4</b> <i>Costos de operación y transportación de los residuos sólidos urbanos</i> .....	50
<b>Tabla 5</b> <i>Generación de residuos sólidos en el cantón de Quevedo</i> .....	82
<b>Tabla 6</b> <i>Cobertura de recolección</i> .....	82
<b>Tabla 7</b> <i>Rutas de recolección y transporte de residuos sólidos urbanos en el cantón de Quevedo</i> .....	83
<b>Tabla 8</b> <i>Desglose por tipo de residuos</i> .....	84
<b>Tabla 9</b> <i>Costos asociados a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos</i> .....	85
<b>Tabla 10</b> <i>Especies florísticas de Cantón Quevedo</i> .....	87
<b>Tabla 11</b> <i>Especies de fauna en el cantón Quevedo</i> .....	88
<b>Tabla 12</b> <i>Importancia ponderada de los factores de satisfacción del cliente</i> ...	90
<b>Tabla 13</b> <i>Factores a maximizar</i> .....	96
<b>Tabla 14</b> <i>Factores a minimizar</i> .....	96
<b>Tabla 15</b> <i>Resultados de la optimización por escenario</i> .....	99
<b>Tabla 16</b> <i>Valores de las variables de decisión para el escenario con mejor desempeño</i> .....	103
<b>Tabla 17</b> <i>Comparación de situación actual con la solución óptima</i> .....	104

<b>Tabla 18</b> <i>Comparación de las cantidades que fluyen por el sistema entre la situación actual y la solución óptima.....</i>	104
<b>Tabla 19</b> <i>Valor del indicador NDICS .....</i>	106
<b>Tabla 20</b> <i>Proyección de generación de los RSU.....</i>	107
<b>Tabla 21</b> <i>Proyección de ingresos por recolección de los RSU.....</i>	108
<b>Tabla 22</b> <i>Inversión .....</i>	108
<b>Tabla 23</b> <i>Costos de costos de operación de los sitios de separación .....</i>	109
<b>Tabla 24</b> <i>Costos de los costos de operación del primer año.....</i>	109
<b>Tabla 25</b> <i>Proyección de los costos .....</i>	109
<b>Tabla 26</b> <i>Evaluación económica .....</i>	110
<b>Tabla 27</b> <i>Medidas a ejecutarse en la gestión integral de la cadena de suministros de los RSU .....</i>	111

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Hilo conductor seguido en la construcción del marco teórico referencial de la investigación.....</i>	3
<b>Figura 2</b> <i>Tipos de investigación relacionados con los residuos sólidos urbanos.....</i>	14
<b>Figura 3</b> <i>Tópicos de investigación de los residuos sólidos urbanos.....</i>	15
<b>Figura 4</b> <i>Cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos .....</i>	18
<b>Figura 5</b> <i>Alcance de las investigaciones de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos .....</i>	24
<b>Figura 6</b> <i>Ámbitos de la investigación de los residuos sólidos urbanos.....</i>	24
<b>Figura 7</b> <i>Procedimiento general para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros ..</i>	44
<b>Figura 8</b> <i>Procedimiento específico para el análisis de la situación actual de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos .....</i>	46
<b>Figura 9</b> <i>Procedimiento específico para la obtención del modelo matemático multicriterio.....</i>	60
<b>Figura 10</b> <i>Costo de operación anual.....</i>	102
<b>Figura 11</b> <i>Beneficio social anual.....</i>	102
<b>Figura 12</b> <i>Ahorro por el impacto ambiental.....</i>	103

## Introducción

El medioambiente se ha convertido en discusión obligada en los ámbitos internacional, nacional, local, público y privado. La preocupación por un mundo mejor para las generaciones futuras, y el aporte de cada persona, ciudad, país y región para conseguirlo, se han traducido en acciones y enfoques tendientes al logro de metas comunes en temas como agua, aire o suelo, hoy sintetizados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Uno de ellos es el de lograr una adecuada gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU).

La generación de residuos sólidos ha alcanzado niveles alarmantes, por una parte el crecimiento de la población conlleva a un aumento en la generación de residuos y por otra, la más importante, la generación de residuos per cápita ha crecido, debido a esquemas y patrones de vida que asocian erróneamente conceptos como calidad de vida y desarrollo con mayor consumo y una mayor generación de residuos, lo que provoca un aumento de la contaminación, el agotamiento de los recursos naturales, entre la interminable lista de factores.

La recolección de residuos sólidos domiciliarios, comerciales e industriales mezclados en una zona urbana es una tarea difícil y compleja, ya que éstos tienen múltiples formas de generarse, ya sean las propiedades privadas, los espacios públicos e incluso las zonas deshabitadas (Guzmán Chávez, 2012). Es por esto, que la recolección ha crecido en importancia en los últimos años, al tiempo que las nuevas tecnologías para convertir los residuos en recursos, constituyen un desafío a resolver el de su disposición final, donde los residuos pueden convertirse en dinero y este potencial vital genera posibilidades comerciales para fabricantes, comerciantes, ingenieros y autoridades encargadas por ley de asegurar la disposición de la materia de desecho generada en su jurisdicción (Harvey, 2012).

La complejidad del manejo de los residuos sin control trae problemas para la salud y el ambiente, lo que causa riesgos importantes, incluso en un contexto global, existiendo residuos que pueden viajar grandes distancias, aumentando la contaminación del planeta (Del Valle, 2005; Vij, 2012; Zaman, 2014). Además, los residuos sólidos urbanos han adquirido características fisicoquímicas que

hacen más difícil su degradación natural. Esto, en conjunto con la escasa cultura ambiental de la población y los cambios en los hábitos de consumo, han hecho que la recolección de los residuos se convierta en una tarea de grandes dimensiones que requiere un importante gasto de recursos (Couto, 2012).

Debido a la cantidad de residuos generados, el Banco Mundial en el año 2018, menciona que la gestión de los desechos sólidos, en su dimensión ambiental, económica, social y territorial, se ha convertido en un problema mundial que le compete a cualquier habitante del planeta. En la mayoría de los países, los problemas relacionados con el inadecuado manejo de los residuos sólidos urbanos repercuten en la dimensión ambiental, social y económica, razón por la que es considerado un problema multidimensional. En un contexto en que la generación de residuos urbanos, tanto domésticos como industriales, crece exponencialmente, es muy importante una gestión responsable del tratamiento de estos.

Así pues, la gestión básicamente está referida al conjunto articulado de acciones a desarrollar desde el ámbito económico, operativo, administrativo, social, de supervisión, monitoreo y educación que permitan el manejo de los residuos sólidos urbanos desde su generación hasta su disposición final para obtener beneficios ambientales (Onofre, 2014). Esta gestión por lo general recae en autoridades municipales de algunos países, como son los casos de China, Turquía, India, Etiopía, Uganda, Grecia, España, entre otros (Papachristou, 2009; Chen, 2010; Kanat, 2010; Okot-Okumu, 2011; Lohri, 2014). Por lo general la aplicación de un sistema integral en la gestión de los mismos ha demostrado ser esencial para mejorar la eficacia global en casi todas las naciones del mundo (Grosso, 2010).

La gestión integral es un sistema de manejo de los residuos sólidos urbanos que, basado en el desarrollo sostenible, tiene como objetivo primordial la reducción de los residuos enviados a disposición final. Ello deriva en la preservación de la salud humana y la mejora de la calidad de vida de la población, como así también en el cuidado del ambiente y la conservación de los recursos naturales. Esta gestión está dirigida a disminuir los residuos generados como medio idóneo para

reducir sus impactos asociados y los costos de su manejo, a fin de minimizar los potenciales daños que causan al hombre y al ambiente.

Una revisión de la literatura pertinente en la base de datos de revistas científicas como *Science Direct*, *Elsevier* y *Emerald* y usando palabras claves como “*A methodological tool for the management of municipal solid waste*”, “*Key goal indicator, key performance indicator, key integral of solid urban waste*”, “*Mathematical models used in the management of urban solid waste*” y “*Assessment of Municipal solid waste Management*”. desde el año 2016 al 2020 se identificaron un total de 82 investigaciones.

El 22% de las publicaciones lo realizan por el análisis del ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés), en donde los trabajos realizados por varios autores (Bueno, 2015; Gengyuan et al, 2016; Ripa, 2016; Fiorentino, 2017; Rao, 2017; Sarra, 2017) evalúan el desempeño ambiental de los sistemas de gestión de residuos sólidos municipales de los sitios de generación y disposición final y solo de los relacionados con material orgánico, papel y plástico, quedando fuera lo relacionado con vidrio, metal y material que no se puede reutilizar.

El 18% de las publicaciones lo hacen por un análisis multicriterio y utilizan herramientas para la optimización de los recursos de los procesos de los RSU de forma aislada y no de una manera integral, así como también sin considerar los aspectos de la sostenibilidad. Yap (2016) en su trabajo de investigación realiza un análisis multicriterio de costos, beneficios sociales y ambientales de los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos. Lee (2016) propone un modelo de programación lineal para la optimización del proceso de recolección de los residuos. Pitchayanin (2016) propone un modelo que se enfoca al análisis económico, sin tomar en cuenta lo ambiental y lo social. Mahmuda (2017) propone un algoritmo para optimizar las rutas de recolección de residuos con la reducción de los costos económicos y los impactos ambientales. Khanh (2017) propone un modelo para optimizar el proceso de recolección.

El restante (60%) de las investigaciones están dirigidas a solucionar dificultades en los procesos de generación, recolección y disposición final. Sandhu (2017) realiza una revisión bibliográfica de los impactos sociales que provocan los

procesos de gestión de los residuos sólidos urbanos. Siwaporn (2017) llevó a cabo un análisis de la composición de los residuos sólidos urbanos y determinó una tasa de reciclaje. Jouni (2017) realiza una evaluación del impacto ambiental de la gestión de residuos sólidos municipales que incorpora tratamiento mecánico de residuos e incineración. Fernández (2017) realiza una revisión económica y ambiental de los sistemas de generación de residuos para la gestión de residuos sólidos urbanos en municipios de mediano y pequeño tamaño. Ferreira (2017) en su investigación propone estrategias de evaluación de los sistemas municipales de recogida selectiva de residuos. Duarte (2019) propone una gestión enfocada a los procesos de recolección.

En estos casos, las investigaciones relacionadas con la gestión de los RSU, no se enfoca como cadena de suministro, así como también carecen de instrumentos metodológicos que permitan el análisis y mejoramiento de la gestión integral de residuos sólidos urbanos con procesos optimizados, en donde se minimicen los costos, las pérdidas ambientales y, además, se maximice la satisfacción al cliente. Los referidos procesos son: recolección, transporte, transferencia y tratamiento de los residuos, considerando las limitaciones o restricciones de cada uno de ellos, representadas en la disponibilidad tales como: cantidad de residuos a trasladar, vehículos de recolección, capacidad y volumen de residuos transportados, ciclos de transportación, instalaciones asociadas al proceso, entre otros. Finalmente, existe carencia en la determinación de índices para los procesos e índices integrales, que permita evaluar los procesos de forma individual e integral.

En Ecuador, aun cuando existen diferentes políticas, leyes y programas encaminados a proporcionar un adecuado manejo de los RSU, la carencia de herramientas para su correcta implementación y gestión ha hecho de estos programas algo más que un discurso político-ambiental, donde la sociedad ha sido un observador escasamente participante. El proceso de recolección es en masa, en donde se evidencia un alto costo de operación y transporte debido al alto consumo de combustible y mantenimiento de los camiones recolectores de los RSU, por la carencia de la planificación de viajes. De un total de 221 municipios, 160 disponen sus cascajos en botaderos a cielo abierto, perjudicando y contaminando los recursos suelo, agua y aire; con la consiguiente

afectación a la salud de la población y en especial de los grupos de minadores que trabajaban en condiciones inadecuadas. Los restantes 61 municipios, presentan un manejo de sus desechos con insuficientes criterios técnicos, en sitios de disposición final parcialmente controlados (PNGIDS, 2016). Bajo este contexto, el Gobierno Central a través de su Ministerio del Ambiente, en abril del año 2010, crea el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS), con el objetivo primordial de impulsar la gestión de los residuos sólidos en los municipios del Ecuador, con un enfoque integral y sostenible; con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos e impulsando la conservación de los ecosistemas; a través de estrategias, planes y actividades de capacitación, sensibilización y estímulo a los diferentes actores relacionados (PNGIDS, 2016).

Sobre el tema de la gestión integral de residuos sólidos urbanos en el Ecuador, se realizó una revisión de la literatura, consiguiendo que existan 20 publicaciones desde el 2013 hasta el 2020 que tratan el tema aplicado a diversos cantones del país. Sin embargo, estos no responden a lo que se propone actualmente el gobierno del Ecuador ya que no se establecen medidas de desempeño, a nivel estratégico, táctico y operativo de los procesos. De igual manera, no se hace una asignación óptima de los recursos disponibles en los procesos de recolección, transporte, transferencia y tratamiento de los residuos sólidos urbanos, por lo que no se cumplen las metas fijadas en el PNGIDS relacionadas con el uso racional de los recursos humanos, materiales y la satisfacción de las necesidades de los clientes, considerando además que estos procesos son ejecutados por entes públicos de Ecuador, lo que obliga más aún a que la gestión de estos sea eficiente.

La investigación de Cevallos Chiriboga (2015) plantea una metodología de diseño de rutas para la optimización del proceso de generación y recolección. Jara Samaniego (2016) realiza un estudio del compostaje que se obtiene de los RSU con características orgánicas. Donski Chiriboga (2017) propone a través del uso de la metodología *Lean-Six Sigma*, la optimización del uso de recursos y espacio para la gestión de los RSU. Moya (2017) establece un estudio para determinar el potencial energético de los RSU.

Se observa entonces un vacío del conocimiento en la carencia de instrumentos metodológicos que permitan realizar un análisis de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, con el mejoramiento de los procesos logísticos que se enmarcan y un uso óptimo de los recursos que se disponen.

El problema científico se resume como la necesidad de obtener un uso racional de los recursos y una mayor integración entre los procesos logísticos presentes en la gestión de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos en los cantones del Ecuador. Por tanto, se puede establecer como hipótesis de esta investigación que, si se desarrolla un procedimiento general y sus específicos correspondiente, con enfoque logístico, que faciliten la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, se contribuye a una elevación del desempeño de los procesos de la cadena de suministros, con un uso racional de los recursos.

La hipótesis quedará comprobada si:

- Tanto el procedimiento general como los específicos desarrollados mejoran la integración y a la vez elevan el desempeño de los procesos de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en un cantón del Ecuador;
- tomando como objeto de estudio práctico, el Cantón de Quevedo y a través de indicadores específicos y el indicador integral que sirvan como guía fundamental para la mejora del desempeño; y
- se logra la implementación parcial o total de los resultados de los procedimientos, de acuerdo con sus posibilidades reales actuales y sentando las bases para su aplicación integral.

Dándole seguimiento a la hipótesis anterior, el objetivo general de la investigación es elaborar un procedimiento general con sus respectivos específicos que permita el mejoramiento de la gestión de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de integración de los procesos logísticos, con un uso racional de los recursos en un cantón del Ecuador. De este, se derivan los objetivos específicos siguientes:

1. Construir el marco teórico – referencial de la investigación a partir de las tendencias actuales sobre el proceso de toma de decisiones, así como,

- los elementos generales de la cadena de suministro de los residuos sólidos urbanos y la necesidad del empleo de esta herramienta en su gestión.
2. Estructurar un procedimiento general con sus respectivos específicos que permita la obtención de un diagnóstico sobre la forma actual en que opera la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos, sus alternativas de funcionamiento y criterios para la toma de decisiones, en cada parte de la cadena, así como la importancia relativa de éstos.
  3. Desarrollar y poner a punto el modelo matemático decisional multicriterio con enfoque logístico, para elevar la efectividad de la operación de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos del Cantón Quevedo de Ecuador.
  4. Desarrollar un indicador integral que permita evaluar la efectividad del funcionamiento de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos.
  5. Aplicar el procedimiento general en el Cantón Quevedo, para comprobar de manera práctica la hipótesis de la investigación.

Para el cumplimiento de dichos objetivos, el trabajo se estructuró en tres capítulos:

**Capítulo 1.** Marco teórico referencial de la investigación. Considerando la estrategia elaborada para su construcción se conjugaron los factores y elementos que sirven de fundamentos teóricos a la presente indagación, en los temas mencionados anteriormente.

**Capítulo 2.** Procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros. Aquí se propone un procedimiento general con sus respectivos específicos, los cuales incluyen una caracterización desde múltiples perspectivas de los procesos de recolección, transporte, transferencia y tratamiento de los residuos sólidos urbanos en un Cantón del Ecuador, se determinan los criterios a ser utilizados de los indicadores operacionales y de gestión para el respectivo diagnóstico de estos procesos en el cantón estudiado. Se determina un indicador integral que mide el desempeño de la cadena de suministros de los Residuos Sólidos

Urbanos y se propone un modelo matemático multicriterio para elevar la efectividad de la operación de la cadena.

**Capítulo 3.** Aplicación del procedimiento general y los específicos en la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos en el Cantón Quevedo.

En este sentido, se requiere del empleo de métodos que respondan a estas exigencias; entre los aplicados en esta investigación se destacan los siguientes:

**Métodos generales:** el método hipotético-deductivo, para la elaboración de la hipótesis general de la investigación y para proponer las medidas a adoptar en la elevación del nivel de desempeño de la gestión integral de la cadena de suministros; el método sistémico, para lograr el funcionamiento armónico y coordinado de toda la cadena; el método dialéctico, para el estudio crítico de las investigaciones precedentes.

**Métodos lógicos:** el método analítico-sintético, al detallar cada proceso por separado, para luego sintetizarlos en los marcos de la gestión mejorada; el método idealización-modelación, al argumentar que el procedimiento propuesto es el que más se ajusta a la gestión integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos.

**Métodos empíricos:** el método coloquial para la presentación y discusión de los resultados en sesiones científicas; los métodos de la entrevista y la observación para obtener los problemas presentes en los procesos estudiados; el método experimental para comprobar la utilidad de los resultados obtenidos a partir del procedimiento definido y los métodos de expertos para la validación de las deficiencias actuales de la gestión.

**Métodos matemáticos:** los métodos estadísticos no paramétricos para las pruebas de hipótesis formuladas al validar criterios de expertos y los métodos de investigación de operaciones, por medio de la formulación de un modelo matemático multicriterio que permita la determinación de las variables de decisión, para medir el desempeño de la gestión de los procesos de recolección, transporte, transferencia y tratamiento de los residuos sólidos urbanos en el Cantón de Quevedo del Ecuador.

La **novedad científica principal** que aporta esta Tesis Doctoral que resume la investigación originaria, radica principalmente en la propuesta de un procedimiento general para gestionar los residuos sólidos urbanos de manera integral y sostenible. Este integra coherentemente procedimientos específicos, métodos, herramientas y un sistema de indicadores (específicos y general) que permite diagnosticar el nivel en que se encuentra la gestión de residuos sólidos urbanos, y en consecuencia proyectar, mediante un modelo matemático multicriterio, las políticas para el mejoramiento gradual de dicha gestión.

Por consiguiente, la aplicación de un procedimiento general y sus respectivos específicos asociados para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en cantones del Ecuador con base en la sostenibilidad, fundamentan el **valor teórico** de la investigación realizada.

De modo tal que el **valor metodológico** se manifiesta en la posibilidad de integrar diferentes conceptos y herramientas en el procedimiento general y sus respectivos específicos desarrollados para la toma de decisiones multicriterio en la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos. De la misma forma, las experiencias de esta investigación pueden ser incorporados en la enseñanza de pregrado y postgrado de las disciplinas de gestión de la cadena de suministros y Matemática Aplicada.

El **valor económico-social** de la investigación radica en el mejoramiento de la gestión de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos, lo cual se traduce en un aprovechamiento de los recursos económicos designados, capacidad de transportación, planificación de rutas de recolección y organización de los trabajos a realizar. Todo ello repercute en la obtención de mayores ingresos, que pueden ser destinados a la satisfacción de las necesidades de la población, a la recuperación económica del país en otros sectores y a la superación del personal involucrado en la cadena.

Así pues, su **valor práctico** radica en la factibilidad y pertinencia demostrada, de poder implementar el procedimiento general y sus respectivos específicos desarrollados, con resultados satisfactorios y de perspectiva alentadora para su continuidad, tanto en la ciudad de Quevedo como la posibilidad de extenderlas a otras ciudades del país que se ajusten al modelo planteado.





**CAPITULO**

**01**



**MARCO TEÓRICO  
REFERENCIAL DE LA  
INVESTIGACIÓN**



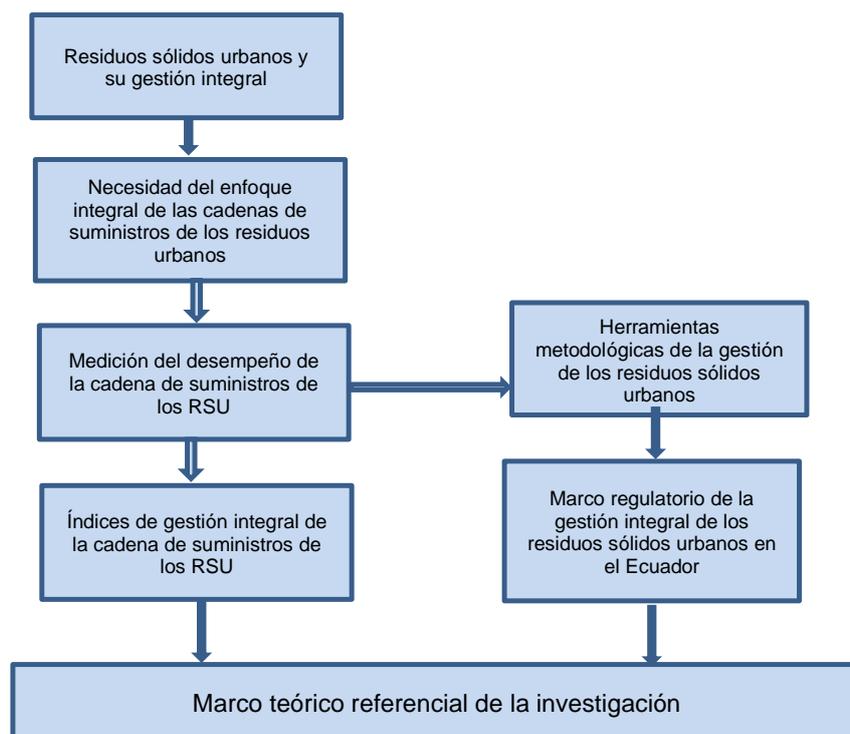


## Marco teórico referencial de la investigación

En este capítulo se exponen los resultados de un estudio amplio y minucioso análisis de las temáticas mostradas en la figura 1, la cual se corresponde con el hilo conductor del marco teórico-referencial de la presente investigación.

### Figura 1

*Hilo conductor seguido en la construcción del marco teórico referencial de la investigación*



**Nota:** Autor (2024)

### 1.1. Residuos sólidos urbanos y su gestión

Este apartado tiene como objetivo caracterizar la ciencia y la aplicación práctica en torno a los residuos sólidos urbanos y su gestión, así como los aspectos que no han sido suficientemente abordados en las publicaciones de literatura científica relevante, tanto nacional como internacional.

### **1.1.1. Residuos sólidos urbanos**

A nivel mundial, el aumento de la densidad de población, la migración de la población de las zonas rurales a las urbanas y la industrialización están generando cantidades masivas de desechos, lo que plantea serios desafíos económicos, sociales y sociodemográficos (Moya, 2017). La población mundial actualmente (2021) está aumentando a una tasa de alrededor del 1,05% anual y, según las estimaciones, se espera que supere los 10 mil millones de personas en 2057 (Worldometers, 2021). Este crecimiento demográfico juega un papel importante en la generación de una cantidad notable de RSU, lo que supone un serio desafío para la sostenibilidad ambiental (Dong, 2016; Ayeleru, 2018; Harris, 2019; Yaashikita, 2020). El mundo genera alrededor de 2.010 millones de toneladas de RSU anualmente, de los cuales el 33% no se gestiona adecuadamente. Estos datos demuestran una necesidad apremiante de estrategias para abordar la tasa creciente de generación de RSU en todo el mundo (Ibañez, 2019; Usmani, 2020; Lou, 2021).

En la literatura consultada, varias son las definiciones de los residuos sólidos urbanos (Vij, 2012; Zaman, 2014; Banguera, 2017; Benedict, 2018) que se exponen. Al resumir éstas se puede plantear como cualquier objeto o material de desecho generado después de la fabricación, transformación o uso de bienes de consumo que se abandona después de ser utilizado. Estos pueden o no ser susceptibles de uso o transformación para otro uso directo o indirecto (Husseini, 2018).

La generación de los residuos sólidos urbanos es una consecuencia directa de cualquier tipo de actividad antrópica desarrollada, pero hoy se encuentra una sociedad de consumo que genera gran cantidad y variedad, procedentes de un amplio abanico de actividades en los hogares, oficinas, mercados, industrias, hospitales, entre otros (Prajapati, 2021), lo cual permite hacer la clasificación de los residuos sólidos urbanos, como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Clasificación de los residuos sólidos urbanos*

Autor	Clasificación de los RSU
Ambientum (2011)	Actividades en los hogares, oficinas, mercados, industrias, hospitales, entre otros
García-Pérez (2015)	Los residuos sólidos se pueden clasificar en diferentes tipos dependiendo de su origen: los residuos domésticos se clasifican generalmente como urbanos, residuos industriales como peligrosos y los desechos biomédicos o residuos hospitalarios como infecciosos
Reyes (2015)	Los residuos sólidos son de origen doméstico y comercial y La composición de los desechos y residuos sólidos en su mayoría son: inorgánicos tales como vidrio, plástico, latas, y orgánicos como restos de comida, papel y cartón
Bharti & Singh (2017)	Residuos sólidos municipales; desechos domésticos, escombros de construcción y demolición, residuos de saneamiento y desechos de calles  Residuos sólidos industriales; sustancias tóxicas, son corrosivos, altamente inflamables  Desechos biométricos; objetos afilados, restos sucios, productos desechables, desechos anatómicos, cultivos, medicamentos desechados, desechos químicos
Quillos (2018)	Los residuos sólidos son los domiciliarios y los industriales siendo los primeros de tipo orgánico, papel cartón, plástico, vidrio y metal.

**Nota:** Autor (2024)

En conformidad con esta clasificación, los residuos sólidos urbanos que se analizan en la presente investigación se limitan con los relacionados a los desechos domésticos, tales como, los de origen orgánico, papel, cartón, plástico, metal y vidrio.

### **1.1.2. Plantas de recuperación y reciclaje (técnicas de tratamiento de los residuos sólidos urbanos)**

Los métodos de manipulación y almacenamiento varían dependiendo de que se realice o no una recolección selectiva y de su frecuencia (Mulala, 2017). Para esto es importante definir en la recolección de los residuos sólidos urbanos dos aspectos: las técnicas y los medios de recolección (Bonmatí, 2008).

En cuanto a las técnicas se las puede resumir en dos modelos principales de recolección; la recolección en masa y la recolección selectiva (Kumar, 2020). En la primera, los residuos se recogen mezclados, sin que haya una selección en origen, y normalmente tampoco una selección posterior (Sharma, 2019). Mientras que la recolección selectiva, consiste en separar los elementos como vidrio, papel y cartón, envases ligeros (latas y plásticos), fracción orgánica y rechazo (Knickmeyer, 2019).

En lo que respecta a los medios, se puede considerar dos sistemas de recolección; contenedores en la calle y la recolección domiciliar o puerta a puerta (Mighua, 2019). Para el primer caso, se disponen de contenedores en las calles, de tal manera que la población ha de llevar los residuos generados en su domicilio hasta los puntos donde están dispuestos los contenedores (Latifah, 2021). En la recolección domiciliar o puerta a puerta cada uno de los domicilios dispone de un contenedor identificado que se deposita en el exterior de la vivienda momentos antes de su recolección (Varotto, 2017).

Para abordar la tarea de reducir sus efectos socioeconómicos y ambientales y así estabilizar los tres pilares de la sostenibilidad, el procesamiento ambientalmente amigable de los RSU se ha identificado como crucial (Ibrahimoglu, 2017; Zabaniotou, 2018). La minimización de residuos, el reciclaje, el saneamiento y el cierre de vertederos contaminados, la mejora de la recuperación de gases de vertedero, el compostaje y la recuperación de energía son algunas de las soluciones para solucionar este problema (Ngo, 2021). Entre todos estos, el enfoque más prometedor para abordar el problema de la generación de residuos es la generación de energía, al tiempo que minimiza las emisiones y el uso de la tierra (Mohan, 2020). La recuperación de recursos proporciona una solución viable, que implica el uso o la extracción de materiales de desecho para su reutilización; con la intención de reducir la cantidad de consumo de materias primas, restringiendo la emisión de gases y reduciendo el volumen de residuos vertidos (Rathna, 2018; Swati, 2018; Yaman, 2019; Saratale, 2020; Khanal, 2020). El reciclaje, el compostaje y la generación de electricidad a partir de los desechos son opciones potenciales de reciclaje de recursos para reducir los desechos en los vertederos (Asefi, 2017; Ghosh, 2018; Rene, 2020).

El tratamiento inadecuado de los desechos es un problema grave, principalmente en los países en desarrollo, debido a los recursos financieros limitados (Hussein, 2018). La mayoría de estos países vierten sus RSU sin un control adecuado, esto resulta la contaminación del aire, el suelo y el agua (Nam, 2018). Tradicionalmente, las tecnologías más utilizadas para el tratamiento del componente orgánico de los RSU son el compostaje y la digestión anaeróbica, estos dos tratamientos de residuos empleados varían esencialmente por el metabolismo microbiano que utilizan (Véron, 2018).

La composición de los residuos alimentarios domésticos es muy compleja porque incluye papeles, agua, aceite, así como alimentos en mal estado y sobrantes de los residuos de la cocina y los mercados (Hussein, 2018). Todas estas sustancias de desecho están compuestas químicamente por grasas, celulosa, almidón, lípidos, proteínas y otras materias orgánicas (Task, 2014). Los contenidos de humedad y sal conducen a una rápida descomposición de los contenidos orgánicos en los desechos, por lo que producen olores desagradables (Vogeli, 2014). Estos desechos domésticos de alimentos son un sustrato adecuado para la producción de enzimas de amilasas a través de la tecnología de fermentación orgánica en estado sólido (Mehmet, 2015; Cerda, 2016). Los residuos de cocina compuestos principalmente por cáscara de cebolla, cáscara de papa, cáscara de zanahoria, hojas de coliflor, cáscara de naranja, tallos de plátano y vainas de guisantes, en conjunto, se utilizaron para producir celulosa por tecnología de fermentación orgánica en estado sólido (Panyathanmaporn, 2018).

El proceso de compostaje se centra en la degradación biológica aeróbica de la materia orgánica, creando estiércol estabilizados (Thomas, 2020). El compostaje de material orgánico de RSU tiene numerosos beneficios ambientales, incluida la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la producción de compost que puede utilizarse potencialmente como fertilizante orgánico (Aziz, 2018; Pergola, 2018).

Los residuos inorgánicos incluyen metal, vidrio, latas de aluminio, etc. y puede ser removido de los residuos sólidos municipales por el método cuantil. Esos

residuos inorgánicos pueden tratarse mediante gasificación por plasma, tecnología de gasificación rápida y lenta (Priya, 2021).

Cuando el volumen de residuos a transportar a las plantas de tratamiento y la distancia a recorrer hasta ellas son muy grandes, los residuos se suelen transferir de los pequeños a mayores camiones, con objeto de optimizar el transporte. Esta operación se realiza en los centros de transferencia y consta básicamente de tres etapas: descarga, compactación y carga en el camión de mayor tamaño (Rathore, 2019).

### **1.1.3. Gestión de los residuos sólidos urbanos**

Los residuos sólidos urbanos, llamados comúnmente basura, son productos generados por la actividad humana, considerados como inútiles, indeseables o desechables (Reyes, 2015). Son producto de las actividades humanas, al cual se le considera de valor igual a cero por quien lo desecha (Sharma, 2019). La falta de conciencia ciudadana, aunado al crecimiento poblacional descontrolado, hace que también crezca el volumen de residuo diariamente (Jaunich, 2016). Esta situación se agrava al final del día, por cuanto se genera un volumen considerado de residuo que origina mal olor, presencia de vectores, contaminación del aire y del suelo y contaminación visual (Sil, 2016).

El manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos y el aumento de la población genera muchos problemas de salud y en el ambiente y más aún, cuando no son gestionados, se convierten en una fuente de muchos problemas (Ramaiah, 2017; Varjani, 2017; Lokesh, 2020; Kumar, 2020; Ren, 2021). Recolectar, almacenar y transportar los residuos sólidos urbanos, que son componentes críticos para el tratamiento y el manejo de éstos, sobre los que se deben poner un mayor énfasis en su gestión (Gallardo, 2015; Gupta K., 2015; Joshi, 2016).

La gestión de residuos sólidos urbanos es un elemento importante en los países en desarrollo, que podría contribuir a solucionar a un conjunto de problemas geoeconómicos y socioambientales globales en los próximos años (Botello-Álvarez, 2018; Mungía-López, 2020). Esto se debe principalmente a la creciente generación de este tipo de residuos sólidos y la carga que representa para el presupuesto municipal (Hussein, 2018). Además de los altos costos, el manejo

de los residuos sólidos urbanos lleva asociado el desconocimiento de diferentes factores que afectan todo el sistema de manejo (Jin, 2020). Estudios realizados en cuatro continentes, en veinte y dos países en vías de desarrollo y en más de treinta áreas urbanas relacionados con la gestión de residuos sólidos, mostraron que pocos artículos proporcionaron información cuantitativa, cuyo objetivo fue determinar la acción y comportamiento de los actores que intervienen en la gestión de los residuos sólidos urbanos y analizar diferentes factores que afectan el sistema (Jiang, 2020; Ko, 2020).

Sobre la base de la literatura disponible, varios estudios han evaluado la gestión de residuos sólidos urbanos utilizando diferentes métodos, como, la evaluación del ciclo de vida life cycle analysis (LCA por sus siglas en inglés) (Sanaz, 2012), Sistema de Información Geográfica (GIS) (Mukete, 2017), Modelo de Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS) (Mohammad, 2011), modelo de herramienta de recuperación de recursos de gestión de residuos sólidos (SMART) (Tan, 2014), y Modelo Dinámico Integral (Zulkipli, 2018). Mientras tanto, Nur (2021) utilizó el modelo de análisis de flujo de material (MFA) para investigar la distribución de las emisiones de metales pesados en las aguas residuales de Malasia. Lo mismo se aplica a los estudios de Gautam (2015) para el caso de gestión de residuos electrónicos. Adicionalmente, Latifah (2018) utiliza modelos combinados GIS, LCA y MFA para identificar los determinantes y las relaciones de las emisiones de carga de contaminantes en la gestión de residuos de biomasa agrícola en Terengganu. Basado en estudios de triangulación, Nuradibah (2016) exploró con éxito el potencial de emisión de residuos para el distrito de Kuala Nerus en Terengganu. Reveló que el comportamiento de la comunidad urbana rural conlleva el mayor factor de emisión de desechos y también ofrece un potencial de reducción en el futuro. Este descubrimiento también está respaldado por Cheku (2019) y Jaafar (2018) utilizando el mismo software paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS).

La circulación del flujo de residuos a través de su desviación es un ejemplo importante de estrategia a través de mecanismos de regulación tributaria, recursos financieros, infraestructura y gestión del ciclo utilizados en diversos campos sociales, económicos y ambientales (Mohammadi, 2019). Sin embargo, factores como el crecimiento económico, la expansión de la población y la

urbanización dificultan la implementación de planes estratégicos de gestión sostenible de residuos en todos los países (Chattopadhyay, 2018). Con base en pronósticos a largo plazo que utilizan datos de la literatura existente, incluidos modelos metabólicos grises y modelos de las cuatro R (Rechazar, Reducir, Reutilizar, Reciclar), los depósitos de recursos de desecho pueden permanecer como un factor predictivo para el consumo de energía, las emisiones de carbono y la producción en la industria automotriz. así como la seguridad de la salud más allá de los requisitos universales, lo que repercutirá negativa o positivamente a partir de la liberación de sus recursos al socio ambiente del mundo (Sampat, 2019). Riber (2019) mencionó que muchos países desarrollados emplean varios métodos de gestión de residuos urbanos para generar energía renovable y otros productos nuevos, incluido el compost. Estos países invierten en el reciclaje de residuos en beneficio de las actividades agrícolas (Feniél, 2019). La elección de la gestión de residuos sólidos depende de las decisiones tomadas por los líderes de la ciudad, así como de las estructuras relacionadas con la naturaleza, cantidad y calidad de los residuos locales generados (Baldwin, 2018).

## **1.2. Necesidad del enfoque integral de las cadenas de suministro en la gestión de los residuos sólidos urbanos**

Utilizar el enfoque de cadenas de suministro en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos garantiza la integralidad que se requiere en estos sistemas. Lo anterior se fundamenta al observar los conceptos que establece la literatura científica sobre cadenas de suministro (Wisner, 2015; Stewart, 2016; Pinheiro, 2017; Coelho, 2018; Yousef et al, 2018; Sumit, 2021).

Estos conceptos abordan las cadenas de suministro como sistema de organizaciones, personas, tecnología, actividades, informaciones y recursos involucrados en el traslado de un producto o servicio desde el abastecedor al cliente donde se incluyen todas las empresas que participan en la transformación o producción, distribución, manipulación, almacenaje y comercialización de un producto y sus componentes. Unido a lo anterior, las cadenas de suministro deben garantizar la reducción de desperdicios en sus procesos mediante el diseño de sistemas amigables con el medio ambiente, la administración de

mercados secundarios y el cumplimiento de estándares ambientales (Sanjeevi, 2015; Ferreira, 2016; Nuradibah, 2016; Rao, 2017; Yaashikita, 2020).

Al observar las cadenas de suministro objeto de estudio en la presente investigación se puede establecer una analogía, donde los proveedores consistirían en los usuarios que generan los residuos y los clientes, las diferentes instituciones que requieran de los productos reciclados para otros fines, garantizando el menor desperdicio posible que se fueran a los sitios de disposición final (Xiaoyun, 2016; Deus B. R., 2017).

### **1.2.1. Gestión de la cadena de suministros**

La gestión de la cadena de suministro se ha convertido actualmente en una filosofía a seguir en la búsqueda de una mejor organización (Vinajera-Zamora, 2017). El estudio va mucho más allá del mero análisis de un proceso organizacional (Genovese et al, 2016) ya que puede ser considerada como un proceso integrado donde la materia prima es convertida en productos finales y luego distribuidas a los clientes ya sea al por menor o al por mayor (Acar, 2016). Al mismo tiempo, este proceso debe ser coordinado y optimizado con el objetivo de lograr un alto nivel de servicio al cliente (Subramanian, 2016).

Movahedi, Lavassani, & Kumar (2016) entre otros autores, han segmentado la evolución de la gestión de la cadena de suministro, en tres etapas:

1. La era de la creación, comienza en la década de 1980, cuando el comprador - proveedor comprendió los beneficios que ofrece una relación de cooperación. En este período, se encuentra por primera vez el término administración de la cadena de suministro (SCM, "Supply Chain Management", por sus siglas en inglés).
2. La era de la integración y los sistemas de la tecnología de la información en la década de los 90. Estos sistemas se centran no solo en la gestión de los recursos de la empresa individual, sino también en los recursos de la cadena de suministro integrada.
3. La era de la globalización comienza con la creación de las políticas de liberalización comercial y el establecimiento de instituciones como la Organización Mundial del Comercio (OMC) y otras que se ocupan de las políticas comerciales globales / regionales.

Mehmeti (2017), indica que según Ballaud (2004), SCM no es nuevo; es una evolución de la función de compra y distribución, este autor ha segmentado la evolución de SCM en tres etapas:

- a. Fragmentación de la actividad - décadas de 1950 y 1960.
- b. Integración de actividades - 1961 a 2000.
- c. Gestión de la cadena de suministro - 2000+.

Las empresas se enfrentan a desafíos para descubrir formas de satisfacer las crecientes expectativas de los clientes y seguir siendo competitivas en el mercado, al tiempo que mantienen los costos manejables (Ahmed, 2018). Sobre el asunto, SCM implica la gestión de un grupo de actividades relacionadas con la planificación, coordinación y control del movimiento de materiales, piezas y productos de los proveedores; la gestión de inventarios de partes adquiridas y de cuestiones relacionadas con la producción; un almacenamiento de productos adecuado y rentable, y, finalmente, transporte al cliente (Ahmed, 2018). Otro enfoque define SCM en términos de diferentes niveles de toma de decisiones, es decir, estratégico, táctico y operativo, e indica que estos niveles de todas las escalas optimizan el rendimiento de la cadena de suministros. Por otro lado, la cadena de suministro tradicional se puede definir como una red que consta de proveedores, instalaciones de fabricación, centros de distribución a partir de los cuales se obtiene materias primas, se convierte en productos terminados y se entrega al usuario final (Kolios, 2016).

Por tanto, existen ciertas diferencias entre SCM y la logística tradicional. La logística tradicional consiste en acciones que usualmente ocurren dentro de los límites de una organización, mientras que SCM esencialmente define una red de diferentes compañías que trabajan en coordinación, con el objetivo principal de entregar productos terminados a los clientes. Además, la logística tradicional enfatiza las funciones de SC, incluidas las compras, la distribución y la gestión de inventario. SCM incluye todos los componentes de la logística tradicional, pero también acciones como el desarrollo de nuevos productos, finanzas, marketing y servicio al cliente (Glykas, 2011).

Dentro de las prácticas para mejorar la operación de la cadena de suministro y al mismo tiempo el desempeño operacional, se encuentran los sistemas de:

planificación de los requerimientos materiales (Material Requirements Planning, MRP), planificación de los recursos de producción (Manufacturing Resource Planning, MRPII), planificación de los recursos de la empresa (Enterprise Resource Planning, ERP), gestión de las relaciones con los proveedores (Supplier Relationships Management, SRM), gestión de las relaciones con los clientes (Customer Relationships Management, CRM), entre otros (Tatoglu, 2015). Todos estos, gestionados adecuadamente y de forma integrada, pueden contribuir a evaluar el desempeño de la cadena de suministro (Vinajera-Zamora, 2017). Cuando se tiene en mente adquirir todo lo anteriormente mencionado, lo primero que se considera es el costo de los softwares y esto se puede considerar una desventaja debido a que suele ser un “costo elevado”, pero en realidad a corto, mediano y largo plazo resulta ser una de las mejores inversiones empresariales.

Las estrategias que se mencionan siempre se orientan a incrementar los niveles productivos y a disminuir los niveles de inventarios, pero en el análisis de los residuos sólidos urbanos, el objetivo no es incrementar la producción de materiales recuperados sino darle un destino final adecuado a los mismos, trabajando en función de los pilares o elementos de la sostenibilidad. En la parte económica, aprovechando al máximo los recursos que se tienen y minimizando los costos de transportación y de operación; en lo social, maximizando la cantidad de productos reciclados que servirían un aumento en su economía y satisfacción del cliente; y en lo ambiental, maximizando los beneficios ambientales con el aumento de productos que se reciclan y menos desperdicios en el sitio de disposición final.

### **1.2.2. Gestión de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos**

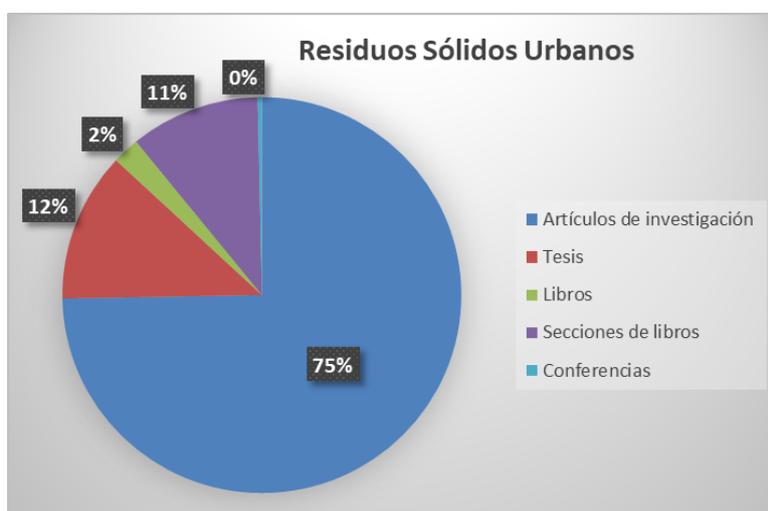
En un sentido estricto, la gestión de residuos sólidos urbanos se suele definir como el conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos generados en una zona determinada el destino más adecuado desde el punto de vista económico, social y ambiental, según sus características, volumen, procedencia, posibilidades de recuperación y comercialización, costo de tratamiento y normativa legal (Ciccullo, 2017; Azevedo, 2019; Nandi, 2020).

Tanto en los países industrializados como en aquellos que se encuentran en vías de desarrollo, los residuos sólidos representan uno de los problemas medioambientales más serios (Gupta, 2015). A pesar de que las administraciones competentes en materia de residuos son cada vez más conscientes de la importancia de una adecuada recogida y eliminación de éstos, la situación actual se caracteriza por un volumen ingente y creciente de desechos generados como consecuencia de una urbanización acelerada en el tiempo, de un aumento de la actividad industrial y de la alteración de los patrones de consumo, aspectos todos ellos que no se gestionan apropiadamente, especialmente en los países en desarrollo (Guerrero, 2010). Independientemente de las directivas y leyes que existen en los países, aún persisten deficiencias en el mejoramiento de la gestión de los residuos sólidos tomando en consideración los tres aspectos básicos de la sostenibilidad, el económico, el social y el ambiental (Coelho, 2018).

Un análisis de la literatura científica y otras fuentes de información disponibles sobre los residuos sólidos urbanos, con la palabra clave Urban Solid Waste de las bases de datos Science Direct, Elsevier y Emerald, se obtuvo un total de 15611 publicaciones en los últimos seis años. Las publicaciones en revistas científicas son las que en mayor número se encuentran, como se muestra en la figura 2.

**Figura 2**

*Tipos de investigación relacionados con los residuos sólidos urbanos.*

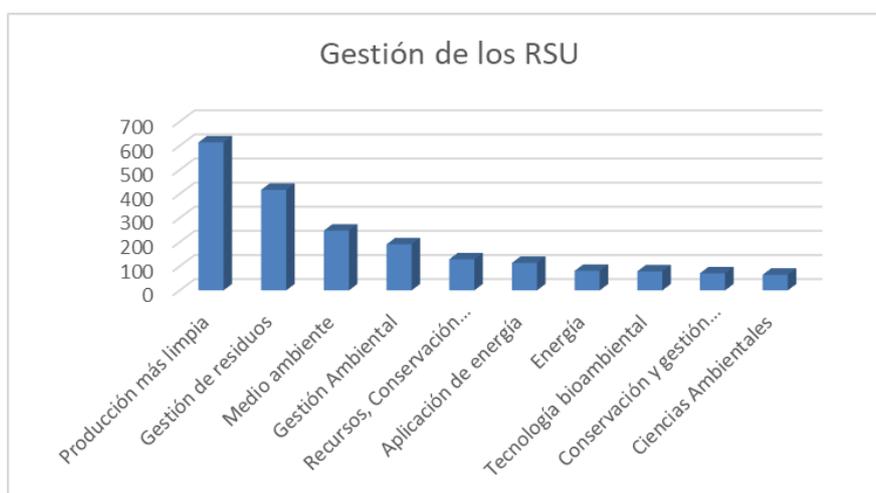


**Nota:** Autor (2024)

Utilizando la palabra clave Urban Solid Waste Management (Gestión de los RSU), la tendencia de las publicaciones está hacia la producción más limpia (desechar menos), seguida con las diferentes estrategias para la mejora en su administración, así como también la conservación ambiental, como se puede apreciar en la figura 3.

**Figura 3**

*Tópicos de investigación de los residuos sólidos urbanos*



**Nota:** Autor (2024)

Lo cual se debe a que la generación de residuos sólidos urbanos está asociada con la contaminación del aire, tierra, y agua (Subhasish, 2019).

La gestión de los residuos sólidos urbanos requiere una excelente infraestructura urbana para su operación y mantenimiento (Alm, 2015). Lograr un sistema de tratamiento sostenible es difícil por los retos en varias áreas, como la recolección, transporte, y la disposición final (Sanjeevi, 2015), y controlando los factores medioambientales, social, y los impactos económicos que se asocian con cada aspecto (Deus B. R., 2017). Integrar los procesos que involucran la gestión de los residuos sólidos urbanos, crea una mejor estructura para el tratamiento y recuperación, minimizando efectos negativos en varias dimensiones sostenibles, como económicos, ambientales, y sociales (Woon, 2016). Para la dimensión social, Marino (2018) establece que los municipios deberían implementar planes de solución de los residuos con participación de la población.

Para la mayoría de los autores (Cemberci, 2015; Bustos, 2015; Agrawal, 2015; Ravi, 2017; Arango-Serna, 2020) la logística inversa se define como el conjunto de prácticas, planificación, implementación y control del flujo eficiente y rentable de la gestión de las devoluciones y retornos de productos desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el fin de recuperar el valor o disposición adecuada. La logística inversa como un proceso, involucra la planificación, implementación y control, no solo de los procesos, sino de los flujos de los productos, la información, y los “desechos”, con el propósito de agregar valor a toda la gestión (Cevallos, Alcocer, & Abreu, 2019). La relación entre la logística inversa y la gestión de residuos se da en las actividades del canal de distribución inversa como la reutilización, el reciclaje y el tratamiento adecuado de los residuos (Kinobe, 2015). Esta acción contribuye para cerrar el ciclo de la cadena de los residuos sólidos urbanos con su tratamiento y aplicación (Faulder, 2018).

La presente investigación es una contribución a la cadena de suministros inversa ya que logra recuperar desechos en las plantas de tratamiento, los cuales podrán ser utilizados de nuevo en la producción, con un enfoque muy general y no particularizando en un material o producto en específico.

Geng (2010) enfatiza que cuándo se integra los procesos de la gestión de residuos sólidos urbanos, se obtienen efectos positivos en lo ambiental, la economía, y la sociedad, que son los pilares importantes de la administración de los residuos. Olapiriyakul (2019) manifiesta que para optimizar la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos se debe resolver los desafíos siguientes:

- Encontrar terrenos adecuados para la eliminación de desechos;
- Impactos en la salud pública causados por la operación de las instalaciones de los residuos sólidos y el transporte de desechos;
- Planificación del uso de la tierra para los desechos urbanos; y
- Justicia e impactos ambientales en las comunidades cercanas.

Por tanto, resulta necesario establecer modelos de desarrollo que tengan como base la sustentabilidad ambiental. Broche (2015), planteó que esto significa que la problemática medioambiental debe convertirse en un objeto tanto para el gobierno de un país, como para todos los agentes económicos del mundo.

Actualmente se realizan grandes esfuerzos, a nivel global, por evitar o corregir (en los casos que ya se produjo) el deterioro ambiental tanto a nivel micro como macroeconómico. En este sentido, la empresa constituye uno de los agentes económicos fundamentales, ya que juega un papel protagónico en la solución o prevención de estos problemas (Ahmed, 2018).

La cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos debería estar representada por eslabones correspondientes a los diferentes procesos que involucran su integralidad, se muestra un ejemplo a continuación:

- a. **Generación:** se refiere a la acción de producir una cierta cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos, en un cierto intervalo de tiempo, luego de un proceso de consumo. Esta acción la realiza toda la sociedad en sus actividades diarias en los hogares, industrias, comercios, entre otros.
- b. **Separación en la fuente o segregación:** es el proceso de separación que sufren los residuos sólidos en la misma fuente generadora, antes de ser almacenados.
- c. **Almacenamiento temporal:** es la acción de retener o disponer temporalmente los residuos sólidos, en espera que sean recolectados para su posterior transporte a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.
- d. **Recolección y transporte:** es la acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos dentro de los equipos-camiones de recolección y conducirlos a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.
- e. **Acopio y/o transferencia:** es la acción de acopiar temporalmente los residuos para luego transferirlos desde las unidades de recolección a los vehículos de transferencia, con el propósito de transportar una mayor cantidad de éstos a un menor costo, con el cual se logra una eficiencia global del sistema.
- f. **Aprovechamiento y transformación (reciclaje):** proceso de transformación física, química o biológica de los desechos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial y en el cual se puede generar un nuevo desecho sólido, de características diferentes. En esta fase se incluye el reciclaje que se define en el código ambiental como la

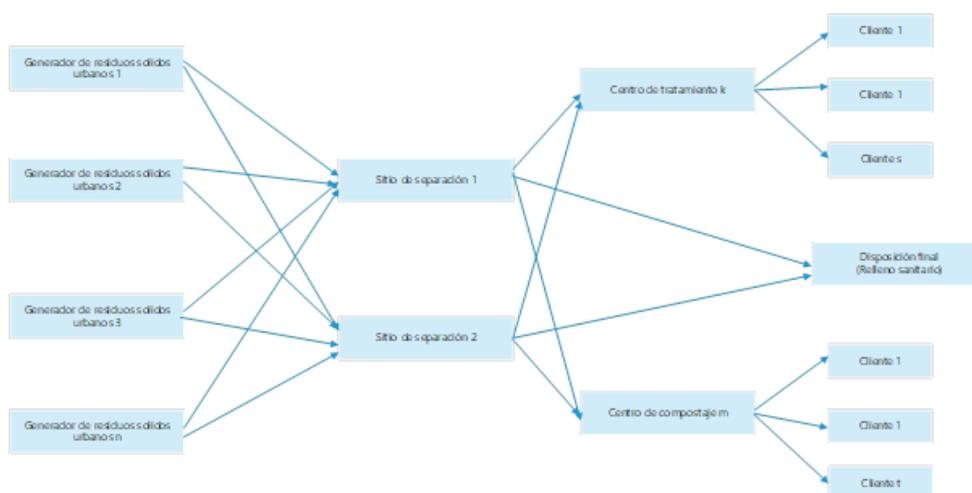
“operación de separar, clasificar selectivamente a los desechos sólidos para utilizarlos convenientemente. El termino reciclaje se refiere cuando los desechos sólidos clasificados sufren una transformación para luego volver a utilizarse” (Mesjasz, 2018).

- g. Disposición final: es la acción de depósito permanente de los desechos sólidos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños al ambiente.

La figura 4 representa un esquema de la cadena de suministros de los Residuos Sólidos Urbanos.

**Figura 4**

*Cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos*



**Nota:** Autor (2024)

Enfocado, por lo tanto, a la gestión de los residuos sólidos urbanos como una cadena de suministros directa, en donde el proveedor consistiría en los puntos de generación, la organización conformada por los sitios de separación, tratamiento y compostaje y obviamente los clientes que serían las personas naturales y jurídicas que requerirían de los productos obtenidos sumados a los rellenos sanitarios.

### **1.2.3. Medición del desempeño integral con un enfoque de cadenas de suministro de los residuos sólidos urbanos**

Cuando se refiere a la gestión integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos, se pretende englobar todos los procesos en uno solo,

considerando la existencia de un único flujo de productos (residuos sólidos urbanos) y analizando y mejorando los procesos entre cada uno de los agentes con el fin de aportar un beneficio global a toda la cadena (Azevedo, 2019). Los autores Ahmed, Chaabane y Dweiri (2018), establecen que la toma de decisiones en cada nivel debe centrarse en obtener una ventaja competitiva y aumentar la participación de mercado.

La gestión óptima de los procesos de la cadena de suministros de los RSU, según Benedict (2018), se produce cuando los procesos:

- a. Son definidos y conocidos por todos los usuarios.
- b. Están de acuerdo con la estrategia de la empresa y con los objetivos de las diferentes áreas.
- c. Son coherentes entre sí.
- d. Presentan compatibilidad con las herramientas de sistemas de información utilizada.
- e. Propician una búsqueda de ventajas competitivas en el proceso de su mejora.
- f. Llegan al detalle de definir incluso las herramientas y los procedimientos necesarios ante emergencias o situaciones excepcionales.

Por otro lado, una planificación integrada consiste en conseguir que todas las partes de la cadena de suministros interaccionen de forma coordinada, es decir, con los mismos objetivos, pero con una única información.

Otra práctica corriente en el diagnóstico y la evaluación del desempeño de los sistemas de recolección de residuos urbanos se basa en el uso de indicadores de rendimiento (Halkos, 2016; Rigamonti, 2016; Sanjeevi, 2015; Woon, 2016). Sin embargo, su aplicación tiene algunas limitaciones, principalmente relacionadas con la cantidad utilizada. Uno solo permite un análisis restrictivo y parcial del problema, mientras que un gran número, conducen por el contrario a un complejo e ineficaz análisis. Hay otras dificultades relacionadas con la disponibilidad de los datos para su cálculo y también persiste la falta de una cultura sistemática y estandarizada para realizar una recogida de datos adecuados y su posterior procesamiento (Gamberini, 2013).

En este orden de ideas, como los indicadores de desempeño no muestran la misma tendencia para los distintos materiales, el análisis se complementa con la propuesta de un índice de desempeño integral para permitir un análisis de los resultados obtenidos por los indicadores. Ese índice de rendimiento consiste en una adecuada combinación lineal ponderada, lo que refleja la importancia relativa de cada indicador en el análisis de los diferentes sistemas de recogida (Ferreira, 2016).

De este modo, Teixeira (2014) ha desarrollado e implementado una metodología de evaluación del desempeño para la recogida de residuos mixto basado en un análisis estadístico de un núcleo de tres indicadores relevantes de rendimiento, es decir, la recopilación efectiva de distancia, el cobro efectivo del tiempo y el consumo de combustible, permitiendo una más eficaz evaluación comparativa.

De tal manera, que los indicadores de desempeño son unos instrumentos para monitorear la consecución de los objetivos de la cadena de suministros. La información que proporcionan debe ser siempre de naturaleza cuantitativa (incluso si se miden variables cualitativas), y dirigida a un diagnóstico de la situación para mejorar. El instrumento de medida por aplicar debe ser simple, sencillo y fácil de interpretar, teniendo en cuenta la interdependencia de las actividades de la cadena de suministros, su elaboración y publicación, y debe ser orientado lo más objetivamente posible, a un auténtico control de gestión (Arango, 2010).

Uno de los indicadores que permite entender de manera general la complejidad en el manejo de los residuos sólidos urbanos en una ciudad es la producción per cápita de residuos, tiene relación directa con el nivel de desarrollo de las ciudades, considerando sus factores socio económicos, como, por ejemplo: hábitos de consumo, grado de industrialización, tamaño de la comunidad, factores de movilidad humana, actividades predominantes. Otros indicadores son el que mide la cobertura de recolección en relación con los residuos generados y el de cobertura de recolección en relación con la cantidad de habitantes atendidos; así mismo, se pueden agregar los que están relacionados con el impacto ambiental que causan estos procesos, tales como: impactos

positivos o negativos a la fauna, flora, tierra, agua, procesos, atmosfera, usos que se les dan a los territorios, entre otros (Haro, 2015).

#### **1.2.4.Herramientas metodológicas y matemáticas de la gestión de los residuos sólidos urbanos**

Con la evolución de la industria, la gestión de residuos sólidos urbanos se ha convertido en un problema cada vez de mayores dimensiones que demanda la toma de decisiones gerenciales a nivel operativo y estratégico (Deus, 2019). De esta manera, Maciel (2016) propone sistemas de gestión de residuos sólidos que permita planificar y controlar su reutilización o eliminación. Broche (2015), planteó que la problemática medioambiental debe convertirse en un objeto tanto para el gobierno de un país, como para todos los agentes económicos del mundo. Actualmente se realizan grandes esfuerzos, a nivel global, por evitar o corregir (en los casos que ya se produjo) el deterioro ambiental tanto a nivel micro como macroeconómico (Botello, 2018). En este sentido, la empresa constituye uno de los agentes económicos fundamentales, ya que juega un papel protagónico en la solución o prevención de estos problemas (Yousefloo, 2020).

Por otra parte, la gestión de los productos que finalizan su vida útil es un problema que cada vez acapara mayor atención por parte de investigadores, empresas, consumidores y administraciones públicas (Pérez, 2020). Existe la tendencia mundial actual de considerar a los fabricantes como responsables últimos de los residuos generados por el consumo de sus productos (Cháfer, 2019). Esto requiere de mecanismos capaces de recuperar y gestionar adecuadamente estos productos fuera de uso con el objetivo de contribuir a una adecuada "eliminación" de los mismos (Peri, 2018). Esto, que en un primer momento puede parecer un costo añadido para la empresa, puede gestionarse para que potencie ventajas competitivas, a través del desarrollo de procedimientos eficientes para la recuperación y reutilización de los productos desechados por los consumidores o productos fuera de uso (Khandelwal, 2019).

En la optimización de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos se encuentran un sin número de variables que se deben tener en cuenta para la toma de decisiones de planeación en busca de la minimización de costos; para el análisis de estas variables y la solución de estos problemas se emplean

modelos matemáticos, los cuales enmarcan la técnica de programación lineal para la optimización, ayudan en la toma de decisiones industriales y en la simulación para resolver situaciones problemáticas complejas en logística, manufactura, almacenamiento, transporte y redes de distribución (Velásquez, 2017).

Hasta el presente, los líderes empresariales de hoy enfrentan muchos desafíos, incluyendo costos, leyes fiscales, disponibilidad de materiales y una nueva entrada al mercado lo que ha impulsado a las organizaciones a rediseñar y reconfigurar sus cadenas de suministro continuamente. A medida que las cadenas de suministro se globalicen, las complejidades para gestionarlas y controlarlas también aumentan, lo que generalmente resulta en una experiencia e intuición inadecuadas. por lo tanto, para superar esa inadecuación se hace necesario el uso de modelos matemáticos (Hae, 2016).

Si bien es cierto, los modelos matemáticos describen la relación entre variables de decisión, restricciones y objetivos, su presentación más usual es en forma de un conjunto de ecuaciones matemáticas, en donde el modelo ha de representar el sistema real para el cual se desea tomar decisiones. La Investigación de Operaciones usa el método científico para explorar e investigar los problemas que deben ser solucionados. En particular, el proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema incluyendo la recolección de datos pertinentes, continúa con la construcción del modelo matemático, posteriormente su validación, y las respectivas conclusiones /soluciones, las cuales se espera que sean válidas también para el problema real (Velásquez, 2017).

Al respecto, Hae, Golinska-Dawson y Wu (2016), plantean que el uso de modelos matemáticos para optimizar la cadena de suministro ha aumentado. Estos pueden ser de nivel de datos de uso (estratégico, táctico u operacional), teniendo en cuenta factores como el enrutamiento del transporte, las redes de distribución o las operaciones de almacén. Los enfoques de modelado matemático que generalmente se consideran en los problemas de la cadena de suministro incluyen:

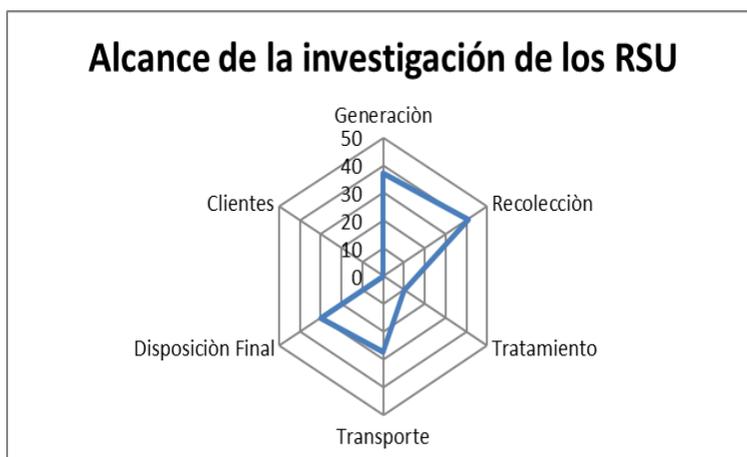
- Programación lineal;
- Programación lineal mixta / entera;
- Programación no lineal;
- Programación multiobjetivo;
- Programación matemática difusa;
- Programación estocástica;
- Algoritmos heurísticos; y
- Modelos metaheurísticas e híbridos.

En este sentido, para organizar la problemática enfrentada por los investigadores en los últimos seis años, se realizó una revisión de los artículos que se relacionan con esta disciplina en revistas referenciadas, dedicadas a la administración de los residuos sólidos urbanos. Se consultaron los trabajos publicados en revistas científicas de “sciencedirect” que incluyeran frases como “A methodological tool for the management of municipal solid waste”, “Key goal indicator, key performance indicator, key integral of solid urban waste”, “Mathematical models used in the management of urban solid waste” y “Assessment of Municipal solid waste Management” en el título, palabras claves o resúmenes, acumulando un total de 525 artículos o resúmenes. De ellas el 27% son artículos de revisión de trabajos realizados en años anteriores del tema de investigación y el 73% son de aplicación. En cuanto a las herramientas metodológicas que más usan para obtener los resultados están la aplicación de análisis multicriterio, LCA y métodos estadísticos.

En cuanto al alcance de las investigaciones, la mayor concentración se encuentra en solucionar los problemas en los procesos de recolección, generación, disposición final y transporte, muy pocas investigaciones tienen que ver con el tratamiento y los posibles clientes de los productos reciclados, como se muestra en la figura 5.

**Figura 5**

*Alcance de las investigaciones de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos*

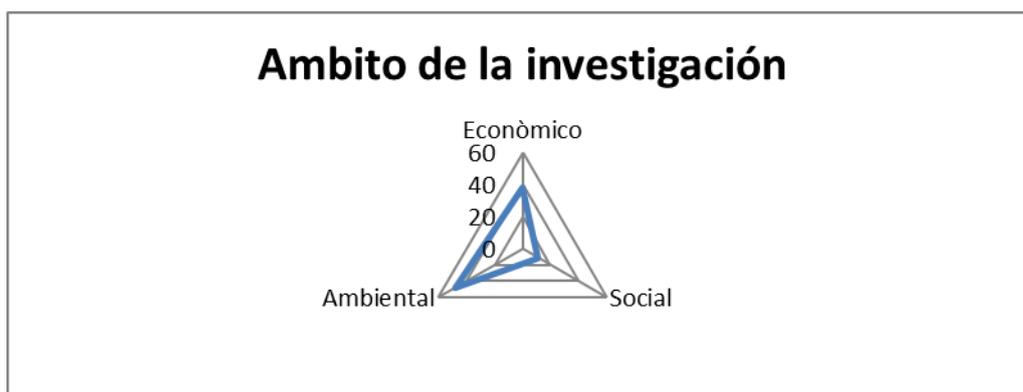


**Nota:** Autor (2024)

En cuanto al ámbito de estudio, se enfocan más en lo económico y ambiental, quedando un poco de lado los problemas de índole social, figura 6.

**Figura 6**

*Ámbitos de la investigación de los residuos sólidos urbanos*



**Nota:** Autor (2024)

En lo que respecta a indicadores, solo 10 publicaciones establecen el tipo y la forma de obtención de indicadores de procesos, sin embargo, no se encontró un solo artículo que determine un indicador integral para evaluar el desempeño de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos. Por consiguiente, las investigaciones relacionadas con la administración de los residuos sólidos muestran que hasta ahora se han centrado en manejar múltiples niveles de la

cadena logística, períodos de tiempo, productos y tecnologías, así como diferentes formas de transportación y tipos de servicios, ellos logran integrar restricciones de capacidades, decisiones tácticas y flujos complejos de los diferentes productos, incluyendo las tres dimensiones del desarrollo sostenible a tener en cuenta: impacto económico, responsabilidad social y el medioambiental. A continuación, se muestra en la tabla 2 un resumen de las investigaciones encontradas sobre modelos de gestión de residuos en general y luego en la tabla 3 trabajos relacionados con la gestión de residuos sólidos urbanos, haciendo un análisis sobre los aspectos negativos que crean un vacío de conocimiento, así como el aporte que pudieran brindar a pesar de las limitaciones que estos trabajos puedan tener.

**Tabla 2**

*Investigaciones sobre modelos de gestión de residuos en general*

<b>Autor</b>	<b>Tema</b>	<b>Limitaciones para su aplicación en el objeto de estudio</b>	<b>Aportes</b>
Knudsen González (2005) Cuba	Diseño y gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Aplicación a los residuos agrícolas cañeros, el bagazo y las mieles	No se tienen en cuenta otros costos de operación. No se plantea la posibilidad de la transportación de más de un residuo en el mismo transporte No se tienen en cuenta los impactos de los procesos, solamente de la utilización o no de los residuos, utilizando el método Procesos de Jerarquías Analíticas No se plantea la necesidad de revisar el diseño bajo el cambio	Alternativas de redes de suministros directas o con almacenamiento intermedio Función objetivo de costo total de la red usando un modelo de programación lineal
Hevia Lanier (2008) Cuba	Diseño y aplicación del modelo de referencia de la logística reversa en la cadena de suministro de los refrigeradores	No se aplica en la realidad ni se utilizan las instalaciones existentes. No se hace un análisis del transporte. No se toman en cuenta indicadores de impacto medioambiental. Aunque pudiera ser parte del proceso de mejora de la cadena, no se hace explícito ni en el diseño ni en la aplicación.	Método de trabajo multicriterio para localización de centros de descontaminación y concentración. Estudios de tiempos del proceso. Indicadores para la medición de la gestión del proceso.
Flores Richard (2013) Ecuador	Diseño del modelo SCOR en un operador logístico, aplicado a los	Se hace una aplicación para obtener un mejor servicio al cliente y no existe una investigación financiera	Metodología para el análisis de los procesos y así

procesos de almacenamiento, recolección y despacho de productos perecibles, para mejorar la eficacia de la gestión de la cadena de suministro y mejorar el nivel de servicio al cliente

No se hace un análisis del transporte. No se tienen en cuenta indicadores de impacto medioambiental.

detectar ineficiencias a ser mejoradas.

**Nota:** Autor (2024)

**Tabla 3**

*Investigaciones sobre de gestión de residuos sólidos urbanos*

<b>Autor</b>	<b>Tema</b>	<b>Limitaciones para su aplicación en el objeto de estudio</b>	<b>Aportes</b>
Gianpaolo Ghiani, Emanuela Guerriero, Andrea Manni, Emanuele Manni, Agostino Potenza (2013)	Programación simultánea de turnos de personal y vehículos en el sector de gestión de residuos	El modelo se enfoca en un eslabón de la cadena de los residuos sólidos urbanos	Guía para plantear un modelo de programación lineal para la gestión de residuos sólidos urbanos
Italia			
Krista L. Greene, David J. Tonjes (2014)	Evaluaciones cuantitativas de los sistemas de gestión de residuos municipales:	Se limita a determinar indicadores de desempeño	Indicadores para medir la gestión ambiental en los sistemas de desechos municipales
Estados Unidos	Utilización de diferentes indicadores para comparar y clasificar los programas en el Estado de Nueva York		
A. Gallardo, M. Carlos, M. Peris, F.J. Colomer (2014)	Metodología para diseñar un mapa de generación y composición de residuos sólidos municipales: Un estudio de caso	El método se enfoca a determinar rutas de recolección	Metodología de planificación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos
España			
Carlos Afonso Teixeira, Catarina Avelino, Fátima	Análisis estadístico en la evaluación del desempeño de la recolección de RSU	Se limita a determinar indicadores de gestión	Indicadores de desempeño de recolección de residuos sólidos

Ferreira, Isabel Bentes (2014)	Portugal			urbanos tales como: distancia efectiva de recolección, tiempo efectivo de recolección y consumo efectivo de combustible.
Feitó Cespón (2015)	Cuba	Modelo multiobjetivo para el rediseño de cadenas de suministro sostenibles de reciclaje, bajo condiciones de incertidumbre. Aplicación a la recuperación de plásticos en Cuba	No se aplica modelación del problema desde una perspectiva que valore el tiempo, ya sea a través de modelos multiperíodos o dinámicos	Planteamiento de escenarios matemáticos a través de MATLAB y Excel lo que facilita el rediseño del proceso de gestión de residuos.  Función objetivo para medir la satisfacción al cliente
H.Y. Yap, J.D. Nixon (2015)	Reino Unido	Un análisis multicriterio de las opciones para la recuperación de energía de los residuos sólidos urbanos en la India y el Reino Unido	El modelo se relaciona con una aplicación de los residuos sólidos urbanos que es la generación de energía	Metodología de toma de decisiones multicriterio
Rotchana Intharathirat, P. Abdul Salam, S. Kumar, Akarapong Untong (2015)	Tailandia	Revisión de la cantidad de residuos sólidos municipales en un país en desarrollo utilizando modelos de gris multivariado	Modelo solo se enfoca en la generación de residuos	Modelo multivariable para el pronóstico de residuos sólidos urbanos
C.K.M. Lee, C.L. Yeung, Z.R. Xiong, S.H. Chung (2016)	China	Un modelo matemático para la gestión de residuos sólidos municipales - Un estudio de caso en Hong Kong	Modelo se enfoca al análisis económico, sin tomar en cuenta lo ambiental y lo social	Modelo matemático de programación lineal entera para la gestión de residuos sólidos municipales  Metodología de análisis de sensibilidad para simular diferentes escenarios
Pitchayanin Sukholthaman, Alice Sharp (2016)	Tailandia	Un modelo de dinámica de sistemas para evaluar los efectos de la separación de fuentes de gestión de residuos sólidos municipales: Un caso de Bangkok, Tailandia	Modelo se enfoca al análisis económico, sin tomar en cuenta lo ambiental y lo social	Metodología para obtener mayor eficiencia en la gestión de residuos sólidos a través de la separación de fuentes.

David Gutiérrez (2018) Perú	Ramón Moreno	Gestión Integral de los Residuos Sólidos Domiciliarios para mejorar la calidad ambiental urbana en el Distrito de Piura – 2017	Análisis estadístico del proceso de recolección de los RSU	Datos estadísticos
--------------------------------------	-----------------	---	---	--------------------

**Nota:** Autor (2024)

De estos estudios, antes mencionados, se tomarán como guía fundamental los de Teixeira (2014) y Lee (2016), ya que hacen énfasis en el análisis estadístico a través de la estimación de indicadores de gestión para el proceso de recolección de residuos sólidos, lo que servirá para plantear indicadores para la medición de la gestión de los procesos involucrados en el presente estudio.

La propuesta presentada en Kolmis (2012) para diseñar una red regional de recolección de residuos, que consiste en la selección de estaciones de transferencia y disposición por medio de un Sistema de Información Geográfica (GIS), con programación no lineal para minimizar costos. Islam (2012.) usó el algoritmo de colonia de hormigas para optimizar las rutas de recolección, teniendo en cuenta variables como el número de vehículos, conductores y el número de ubicaciones e instalaciones de tratamiento. La propuesta en Liu (2012.) busca optimizar las rutas, basado en la consistencia de controles de tráfico.

La búsqueda llevada a cabo en Achillas (2012.) propone un modelo de programación lineal objetiva, apuntado a minimizar el costo total. Los métodos de optimización difusa son utilizados para apoyar la administración medioambiental dentro de un contexto de incertidumbre, donde se puede dirigir la complejidad aumentada e incluso en la toma de decisiones

Así mismo, se considerará la investigación de Feitó-Cespón (2015), ya que es un claro ejemplo de cómo se formulan funciones objetivo basadas en un modelo multicriterio, así como en lo relacionado con la simulación de diversos escenarios a través de paquetes computarizados que permitan evaluar el modelo e identificar debilidades a ser mejoradas, aun cuando este no aplique un modelo que considere el tiempo, esta deficiencia detectada puede ser abordada en este trabajo de investigación.

También se considerará la investigación de Lee (2016), que a pesar de desarrollar un modelo matemático que solo incluye el aspecto económico, sirve de guía en cuanto a la formulación de modelos matemáticos que permitan optimizar el proceso de gestión integral de residuos sólidos, además se plantea el análisis de sensibilidad que implica la elaboración de diferentes escenarios para medir la efectividad del modelo, así como lo hace Feitó-Cespón (2015).

Así mismo la investigación de Olapiriyakul (2019), quién determinó los principales estudios que se han dirigido a la optimización de la gestión de suministro de residuos sólidos, entre los que se destaca Zhang (2013), quien desarrolló un modelo de optimización para minimizar los costos de inventario, transporte y eliminación de los residuos sólidos; en su estudio, se emplea un enfoque de programación a intervalos para tratar la incertidumbre de los parámetros de planificación. Toso y Alem (2014), proponen un modelo determinístico y estocástico de ubicación de instalaciones capacitadas para determinar el diseño de planificación de ubicación óptimo para el reciclaje de desechos sólidos urbanos. Su modelo se centra únicamente en minimizar los costos generales que tienen restricciones presupuestarias. Xu (2017), proponen un modelo de diseño sostenible para la red de la cadena de suministro logístico inverso de residuos sólidos.

En cuanto a investigaciones relacionadas con la gestión de los residuos sólidos urbanos, Gengyuan (2016) realiza una evaluación ecológica económica del proceso de recolección de los RSU, utilizando el análisis del ciclo de vida (LCA). Por el contrario, Rao (2017) menciona herramientas y equipos necesarios para gestionar los desechos, como la necesidad de recuperación, reutilización y recuperación de energía de los desechos sólidos municipales y se presentan los procesos involucrados. Se discuten las consideraciones socioeconómicas de la recuperación de recursos. Francis (2017) aplica el denominado método analítico del proceso de asignación de residuos, el cual consiste en aplicar métodos de evaluación de impacto y herramientas de análisis de sistemas ambientales.

En lo relacionado con la determinación de indicadores de gestión Krista (2014) examina los de desempeño utilizados para evaluar los beneficios ambientales de

los sistemas de desechos municipales para determinar si existe un acuerdo entre ellos sobre qué sistema funciona mejor ambientalmente.

Con respecto a los modelos matemáticos utilizados, Lee (2016) desarrolló uno que adopta programación lineal entera y programación entera mixta para el proceso de recolección de residuos sólidos municipales, al igual que Mahmuda (2017), el cual aplica un algoritmo de búsqueda para la recolección eficiente de los residuos y la optimización de las rutas. Por su lado, Pitchayanin (2016) propone un modelo de dinámica de sistemas para evaluar los efectos de la separación en los puntos de generación de los RSU. Khanh (2017) para la optimización del transporte de los RSU, emplea un Sistema de Integración Geográfica (GIS) donde se reducen los costos en un 11%. Redes neuronales artificiales para la gasificación de residuos sólidos municipales en un reactor de lecho fluidizado es lo que propone Daya (2016). Sama (2016) a través de redes neuronal artificial y regresión lineal en los puntos de generación, predice la tasa media de residuos generados. Por su lado Ezequiel (2013) aplica un modelo de optimización que selecciona simultáneamente las tecnologías de procesamiento y su ubicación en la generación de los residuos de las ciudades. Un algoritmo estocástico de programación no lineal propone Yousef (2018), para determinar la capacidad de los puntos de generación de los RSU. Un modelo matemático de optimización propone Melika (2020) para minimizar costos en los procesos de recolección.

En lo que respecta a la evaluación de la gestión de los residuos sólidos urbanos, existen diferentes criterios al respecto. Jouni (2017) en su investigación realiza una evaluación del impacto ambiental de la gestión de residuos sólidos municipales que incorpora tratamiento mecánico de los residuos y su incineración. Una evaluación económica y ambiental en los puntos de generación de los RSU es lo que se tiene en la investigación realizada por Fernández (2017). La evaluación de la gestión de los RSU, con un modelo de logística inversa propone Xiaoyun (2016) en su investigación. La evaluación en base al seguimiento y análisis estadístico de un conjunto básico de indicadores de desempeño que pone de relieve las tendencias de recolección, complementado con un índice de desempeño que reúne una combinación lineal

ponderada de estos indicadores para mejorar desempeño general del proceso de recolección es lo que aplica Ferreira (2017).

El resto de las investigaciones que se muestran en el anexo 1 también servirán de guía para el estudio planteado en el Ecuador, pero su peso es de menor relevancia en comparación con las mencionadas anteriormente. Esto se debe a que, en las investigaciones realizadas, al tema de los RSU no lo enfocan como una integración de la cadena de suministros, esto significa que la gestión de cada proceso se hace por separado. De la misma manera, los indicadores de desempeño que proponen no existen una integración, la cual pudiera medirse con un indicador integral que permita evaluar toda la cadena. Finalmente, los procedimientos propuestos para la gestión de los RSU, en su mayoría se enfocan al análisis ambiental, lo que en conjunto constituye el vacío del conocimiento que con la presente investigación se propone resolver.

### **1.3. Situación actual de los RSU en el Ecuador**

El marco legal que rige al Ecuador en cuanto a la gestión integral de residuos sólidos urbanos está fundamentado en la Constitución Política de la República, leyes en materia ambiental, códigos de salud, reglamentos ministeriales, reglamento para el manejo de los residuos sólidos y las ordenanzas municipales que rigen la materia.

#### **1.3.1. Reglamento para el manejo de los residuos sólidos**

La Constitución del Ecuador (2013), en su artículo 264 establece las competencias de los gobiernos municipales en cuanto a la prestación de servicios públicos que involucran la depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, saneamiento ambiental, entre otros, creando lineamientos para su aplicación. El reglamento para el manejo de los residuos sólidos urbanos fue promulgado el 8 de febrero de 2014, en donde se establece que las municipalidades tienen la obligación de realizar la recolección y disposición final de los residuos sólidos, utilizando métodos adecuados.

En el artículo 1 se presenta el objeto, el cual consiste en regular los servicios de almacenamiento, barrido, recolección, transporte, disposición final y demás actividades relacionadas con los desechos sólidos, cualquiera que sea la actividad o fuente de generación. En el artículo 4 se menciona del manejo de los desechos sólidos, el cual comprende las actividades siguientes: producción y almacenamiento, entrega, recolección, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final, barrido y limpieza de vías y áreas públicas, recuperación y educación ambiental.

En el artículo 10, se mencionan de los programas de manejo de los residuos sólidos, el establecimiento de rutas y horarios para recolección de los residuos sólidos, que serán dados a conocer a los usuarios; y diseñar mecanismos de información y educación a los usuarios del servicio, sobre la entrega o presentación de los residuos sólidos, su ubicación, tamaño o capacidad del recipiente, entre otros aspectos. En el artículo 29, se definen los sitios de ubicación de los contenedores de almacenamiento, y se dice que los sitios para ubicar los contenedores deben permitir la accesibilidad para los usuarios y para el manejo y evacuación de los residuos sólidos, así como la limpieza y conservación de la estética del contorno.

En el artículo 48, se expresa sobre la frecuencia de recolección, planteando que esta debe ser óptima, por sectores, de forma tal que los desechos sólidos no produzcan condiciones que afecten a la salud en los domicilios; la frecuencia y horario de las rutas deben ser establecidas por las entidades encargadas del servicio en base a estudios técnicos. El artículo 49, establece que la recolección de los desechos sólidos se debe realizar por operarios designados por las entidades encargadas del servicio, en las rutas y frecuencias que se definan.

En el artículo 50, se menciona del equipamiento de protección del personal que recolecta y transporta los residuos sólidos, indica que estos deben cumplir con la vestimenta adecuada y usar los equipos específicos para la actividad que desempeñan. El artículo 92, indica que el almacenamiento de los desechos sólidos debe hacerse en contenedores con características específicas para tal fin, separando los desechos especiales de los del servicio ordinario.

### 1.3.2. Ordenanzas para la prevención y control de la contaminación ambiental del cantón Quevedo

La ordenanza para la prevención y control de la contaminación ambiental del Cantón Quevedo, promulgada en el año 2018 (Municipalidad de Quevedo, 2018), se aplica para todas las personas naturales, jurídicas y sociedades que puedan generar contaminación del medio ambiente en el cantón. Se definen ciertas competencias, indicando cuáles son los programas que deben ser ejecutados en cuanto a recolección y traslado. Sin embargo, aún se observan vacíos jurídicos en la forma en cómo se deben llevar algunos aspectos de la gestión integral de residuos sólidos sobre todo en lo relacionado con el tratamiento y disposición final, así como contradicciones y conflictos legales que conllevan la necesidad de seguir modificando leyes y realizar una reforma estructural del sector. Las tendencias hacia la descentralización han hecho que los gobiernos locales tomen las riendas de esta problemática, sin embargo, la falta de capacidades instaladas, de presupuestos reales y de programas de corto plazo ha hecho que únicamente sea abordado de manera superficial.

### 1.3.3. Estudios sobre la gestión de residuos sólidos urbanos en el Ecuador

Sobre el tema de la gestión integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos en el Ecuador, se realizó una revisión de la literatura consiguiendo que existan aproximadamente veinte trabajos desde el 2013 hasta el 2020 que tratan sobre el tema aplicado a diversos cantones del país, siendo los más relacionadas con el tema estudiado en esta tesis doctoral como se muestra en la tabla 4:

Tabla 1.4. Investigaciones sobre gestión integral de residuos sólidos urbanos en el Ecuador

Autor	Tema	Alcance de la investigación	Aportes
Jiménez Erazo, Jéssica Salomé (2017)	Propuesta de plan de gestión integral para los residuos sólidos generados en la	Solo plantea un modelo administrativo para ser aplicado por entes públicos.	Enfoca la gestión de residuos sólidos urbanos como un proceso integral.

	cabecera parroquial Nono	No elabora un modelo matemático para mejorar el proceso. Se limita a determinar indicadores de desempeño	Hace una recopilación del marco jurídico vigente en el Ecuador. Trata el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos.
Mendoza Macías Marlene Mariluz (2017)	Análisis de la gestión de los residuos sólidos en el Cantón Balzar - Provincia del Guayas	Se realiza la caracterización de los RSU en el Cantón Balzar Explicación de los procesos de la gestión de los RSU	Procesos de recolección Procesos de reciclaje
Keyla Visarrea Vega (2017)	Mancomunidad alternativa financiera y económica válida para la Gestión Integral de Residuos Sólidos: Casos Cantones San Pedro de Pelileo y Patate	Criterios de la rentabilidad de la Mancomunidad Normativas de la Gestión Integral de los RSU	Normativas de la Gestión Integral de los RSU
Cristian Andrés Arrieta Balcázar, Marcia Elena Almeida Guzmán (2017)	Propuesta de políticas integrales de gestión ambientalmente adecuada de manejo de residuos sólidos para el Distrito Metropolitano de Quito	Caracterización de los RSU en el Cantón Quito Normativas del manejo de los RSU Plan de manejo de los RSU	Normativas de manejo de los RSU Planes de manejo de desechos
Pedro José Álvarez Loaiza (2016)	Propuesta para la gestión integral de residuos sólidos en la parroquia Santiago, cantón Loja	Caracterización de la gestión de los RSU Caracterización de las rutas de recolección	Rutas de recolección de los RSU
Cevallos Chiriboga Gianella Maribel (2015)	Propuesta de mejora para el manejo de desechos sólidos en el centro de la	No se basa en un modelo multicriterio para la gestión de los residuos sólidos urbanos	Metodología de planificación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos

		Municipalidad de Esmeraldas, Ecuador	Solo se enfoca en la generación y recolección de la gestión de residuos sólidos urbanos	Estudia el impacto ambiental del proceso El método se enfoca a determinar rutas de recolección
Alex Castro (2015)	Fabrizio Núñez	La disposición de los desechos sólidos y su impacto en la condición sanitaria de los habitantes de la zona urbana del cantón Quero de la provincia de Tungurahua	Se limita a realizar un plan de recolección de información de los desechos en el Cantón Quero Establece un plan de procesamiento de dicha información	Aspectos legales del Cantón Sistemas de recolección de los residuos
Rafael Borja & Jefferson Tigua (2015)	Felipe Gutiérrez & Elvis Choez	Análisis de Desechos Sólidos Domiciliarios Generados en el Sector Isla Trinitaria de la Ciudad de Santiago de Guayaquil	Datos sobre la generación de los desechos Estrategias para aplicar sobre el reciclaje y reutilización	Datos de generación
Luis Calunia (2015)	Alonso Rojas	Caracterización de los residuos sólidos generados en los hangares del gobierno autónomo descentralizado Provincial de Pastaza, ciudad del Puyo, 2014	Diagnóstico de la situación actual de la generación de los RSU Caracterización de los lugares de acopio de los residuos Normativas para la manipulación de los RSU	Normativas de manipulación de los RSU
Ávila Ochoa (2013)	Dunia y María	Propuesta para el manejo integral de los desechos sólidos de la población urbana del cantón de Nabón	Solo se enfoca en plantear pollitas públicas a gestionar por las autoridades del cantón. No plantea un modelo matemático multicriterio Solo trata las variables económicas	Hace una recopilación del marco jurídico vigente en el Ecuador.

Flores Richard (2013)	Diseño del modelo SCOR en un operador logístico, aplicado a los procesos de almacenamiento, recolección y despacho de productos perecibles, para mejorar la eficacia de la gestión de la cadena de suministro y mejorar el nivel de servicio al cliente	Se hace una aplicación para obtener un mejor servicio al cliente y no existe una investigación financiera para No se hace un análisis del transporte. No se tienen en cuenta indicadores de impacto medioambiental.	Metodología para el análisis de los procesos y así detectar ineficiencias a ser mejoradas.
-----------------------	---	---	--

**Nota:** Autor (2024)

Como se puede apreciar, en ninguna de las investigaciones que se relacionan en la tabla 4 le dan un enfoque de cadena de suministro a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Esto implica que no incluyan procedimientos generales o específicos que permitan determinar el desempeño integral de dicha cadena y tampoco abordan modelos matemático multiobjetivo que optimicen los procesos. Sin embargo, en todas las investigaciones se han desarrollado planteamientos del marco jurídico que se aplica en el Ecuador sobre el tema y se hacen propuestas de modelos de tipo administrativos para dar solución o mejorar los procesos que forman parte de la gestión integral de residuos sólidos. La investigación de Cevallos-Chiriboga (2015) es la única que plantea una metodología de diseño de rutas para la optimización del proceso, pero no lo hace desde el punto de vista del modelamiento matemático multiobjetivo y además no estudia el proceso completo de gestión integral de residuos sólidos urbanos, solo de lo que corresponde a la generación y la recolección. Se observa entonces el vacío de conocimiento en el estudio de la gestión integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos en las investigaciones realizadas en el Ecuador.

## 1.4. Conclusiones parciales

1. En la revisión de la literatura existente sobre el estudio de la gestión integral de residuos sólidos urbanos se encontraron debilidades o vacíos de conocimiento en lo que respecta a la falta de enfoque multi productos en la cadena de suministro, no se realizan análisis de los medios de transporte. No consideran a la gestión de la cadena de suministro de una manera integral, en donde involucren, no solamente las actividades en el interior de una organización sino también procurar una integración externa con el resto de los participantes de la cadena, esto en parte está dado por las insuficiencias que presenta en el regulatorio de la gestión de los residuos sólidos urbanos que por lo general esta parcializado hacia los procesos de recolección y traslado dejando brechas del conocimiento en lo que respecta al tratamiento y la disposición final de dichos residuos.
2. En el marco de la gestión integral de residuos sólidos urbanos a nivel de los países de bajos ingresos, resulta en procesos ineficaces por la incapacidad técnica, falta de presupuesto, marco regulatorio débil, además que la gestión integral de los residuos sólidos no es percibida por las autoridades y la ciudadanía como un tema prioritario. Es necesario enfocar la gestión integral de los residuos sólidos urbanos como una cadena de suministro, ya que esta centra su esfuerzo en la planificación y el control de todas las actividades relacionadas con la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final, involucrando a todos los participantes de la cadena y gestionándolo todo como un sistema, hasta ahora solo se tomaba en cuenta los procesos de recolección sin considerar el resto de las etapas lo que hace que no se aprecie por completo el problema objeto de estudio.
3. En el Ecuador existe el marco legal que rige a lo relacionado con gestión integral de residuos sólidos urbanos que está fundamentado en la Constitución Política de la República, leyes en materia ambiental, códigos de salud, reglamentos ministeriales, reglamento para el manejo de los residuos sólidos y las ordenanzas municipales que rigen la materia. Sin embargo, aún se observan vacíos en la forma en cómo se deben llevar

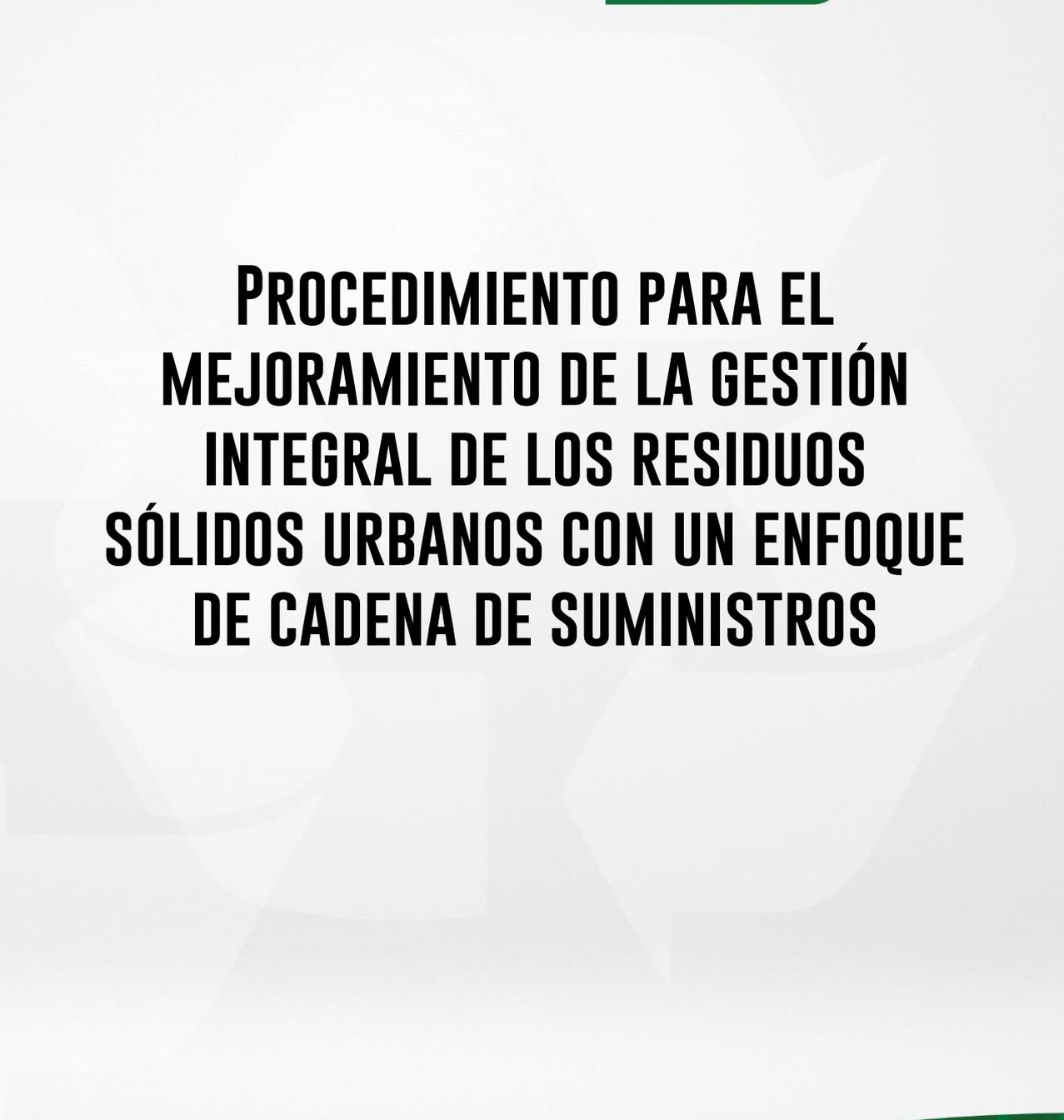
algunos aspectos de la gestión integral de residuos sólidos sobre todo en lo relacionado con el tratamiento y disposición final.

4. La literatura sobre la gestión integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos en el Ecuador evidenció que existen aproximadamente veinte trabajos que tratan sobre el tema dirigido a diversos cantones del país, en todas ellas se han desarrollado planteamientos del marco jurídico y se hacen propuestas de modelos de tipo administrativos para dar solución o mejorar algunos procesos que forman parte de la gestión integral de residuos sólidos. Esto implica que los problemas están dados por la no utilización de herramientas y técnicas de gestión que justifiquen que las decisiones que se adopten estén técnicamente fundamentadas.



**CAPITULO**

**02**



**PROCEDIMIENTO PARA EL  
MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN  
INTEGRAL DE LOS RESIDUOS  
SÓLIDOS URBANOS CON UN ENFOQUE  
DE CADENA DE SUMINISTROS**





## **Procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros**

Partiendo del análisis y estudio del marco teórico referencial de la investigación y de las conclusiones expuestas, es necesario aportar soluciones al problema científico que la originó. En tal sentido, se expone en este capítulo un procedimiento general y varios específicos para la toma de decisiones logísticas en la cadena de suministros de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, a partir de sus propias condiciones y realidades para incorporar, de forma efectiva y racional, la modelización multicriterio a su quehacer, de manera coherente con los objetivos estratégicos de la organización e integrándose con el resto de las funciones y estrategias empresariales de la cadena.

### **2.1. Concepción teórica del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros**

El procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros se basa en los elementos conceptuales que se describen seguidamente.

#### **Premisas de construcción del procedimiento**

La construcción del procedimiento general se realizó sobre las premisas siguientes:

1. Evita algunas ideas erróneas, en su mayoría por falta de conocimiento, que poseen ciertas autoridades municipales, tales como desestimar el empleo de técnicas y métodos de Investigación de Operaciones como ayuda a la toma de decisiones en las organizaciones.

2. Integra aportes y/o desarrollos teórico-metodológicos y prácticos de la gestión empresarial y la administración pública, herramientas de la toma de decisiones y otras áreas de conocimiento.
3. Constituye una parte indisoluble del proceso de la cadena de suministros.
4. Las técnicas y herramientas desarrolladas para la implementación del procedimiento general permiten considerarlo dialécticamente, en continuo perfeccionamiento.

### **Objetivo del procedimiento**

El objetivo del procedimiento es mejorar el desempeño integral de la cadena de suministro de los residuos sólidos urbanos.

### **Principios en los que se sustenta el procedimiento**

El procedimiento desarrollado se sustenta en los principios siguientes:

1. Alcance y delimitación: el procedimiento se enfoca a resolver el problema que se presenta desde el momento de la generación de los residuos sólidos urbanos, de las zonas residenciales y comerciales, cuando ya han sido depositados en los lugares de recolección, hasta su disposición final.
2. Mejoramiento continuo: el procedimiento contempla el regreso a etapas anteriores cuando se presenten deficiencias o no se enmarquen con el objetivo propuesto, con lo que se pueda corregir o mejorar diferentes aspectos.
3. Aprendizaje: contempla métodos de trabajo en grupo, encuestas y métodos de expertos para la selección de criterios de decisión, de factores para evaluar éstos y la determinación de sus importancias relativas. Para lograr el consenso entre los involucrados en estos procesos, se requiere de su capacitación en las técnicas a aplicar y del ejercicio del método en reiteradas ocasiones.
4. Flexibilidad: la posibilidad que tiene de aplicarse a otras cadenas con características no necesariamente idénticas a las seleccionadas dentro del universo investigado.
5. Perspectiva o generalidad: dada la posibilidad de su extensión como instrumento metodológico para ejecutar estos estudios en otros procesos similares.

## Entradas

Como entradas el procedimiento tiene:

1. Opiniones de los miembros de los equipos de trabajo sobre importancias de los problemas, pesos de criterios y factores, etc.
2. Información para calcular el índice de desempeño actual de la cadena objeto de estudio.
3. Restricciones relacionadas con los recursos humanos, materiales y técnicos.
4. Características de la cadena de suministro.
5. Las decisiones estratégicas medioambientales derivadas de las entradas anteriores.

## Salidas

Las salidas principales del procedimiento son:

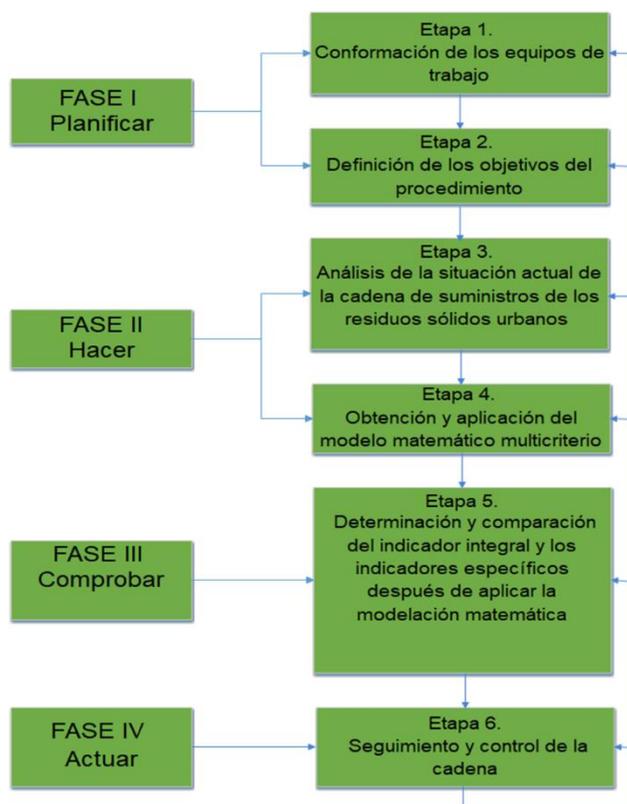
1. Red logística adecuada para el funcionamiento de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos.
2. Índice de desempeño de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos actual y mejorado.
3. Recursos para utilizar en el cumplimiento de la misión de la cadena.
4. Acciones de mejoras en el desempeño de la cadena de suministro.

## **2.2. Desarrollo de los procedimientos, general y específicos, para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros**

El procedimiento propuesto para la presente investigación fue realizado siguiendo el Ciclo de Deming, como una forma de representar el proceso de solución, representado en la figura 7.

**Figura 7**

*Procedimiento general para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros*



**Nota:** Autor (2024)

El procedimiento general desarrollado para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros se distingue de otras investigaciones realizadas, por los aportes relevantes siguientes:

1. Consideración de la toma de decisiones en la cadena de suministros como un problema multicriterio en el cual no solo intervienen volúmenes de generación, sino también la cantidad de recursos a utilizar en el proceso.
2. Contemplación de procedimientos específicos para el análisis de la situación actual de la cadena de suministros, tanto en sus eslabones independientes como en su integración, con la determinación del peso de los criterios y la implementación del modelo decisional multicriterio de la gestión de la cadena.

3. Utilización de un indicador Nivel de Desempeño Integral de la Cadena de Suministros (NDICS), mediante el uso de técnicas como entrevistas, trabajo en grupo, método de expertos, comparaciones pareadas, técnicas estadísticas, observación directa, análisis de registros y el método Proceso Jerárquico Analítico (AHP)

El procedimiento general comienza por el análisis de la situación actual del sistema objeto de estudio, posteriormente se pasa al desarrollo de la solución y del plan de actuación, para realizar, por último, la implantación y evaluación.

### **2.2.1.Fase I. Planificar**

Constituye la primera fase del procedimiento. Ésta incluye un conjunto de dos etapas vinculadas: la conformación de los equipos de trabajo y la definición de los objetivos generales del estudio.

#### **Etapas 1. Conformación de los equipos de trabajo**

Esta etapa abarca la constitución de los equipos de trabajo necesarios para el desarrollo del estudio, es decir, quiénes serán los decisores, los analistas o equipo de estudio, los usuarios y programadores del Sistema Informativo de Ayuda a la Decisión Multicriterio o el paquete informático. También en esta etapa se realiza, de ser necesaria, la capacitación del personal involucrado.

#### **Etapas 2. Definición de los objetivos del procedimiento**

Se definen los objetivos que se pretende alcanzar con el análisis de la situación actual de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos, encaminados al mejoramiento de los procesos de la cadena, determinando los principales problemas que afectan su gestión y que inciden en la efectividad de la misma. Se utilizan técnicas de trabajo en grupos y de clasificación.

### **2.2.2.Fase II. Hacer**

Esta fase implica el análisis de la situación actual de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos, así como el desarrollo del modelo matemático, con el fin de dar respuesta a los objetivos de la investigación. Para ello se estructura el modelo de programación lineal multicriterio con las funciones objetivos correspondientes.

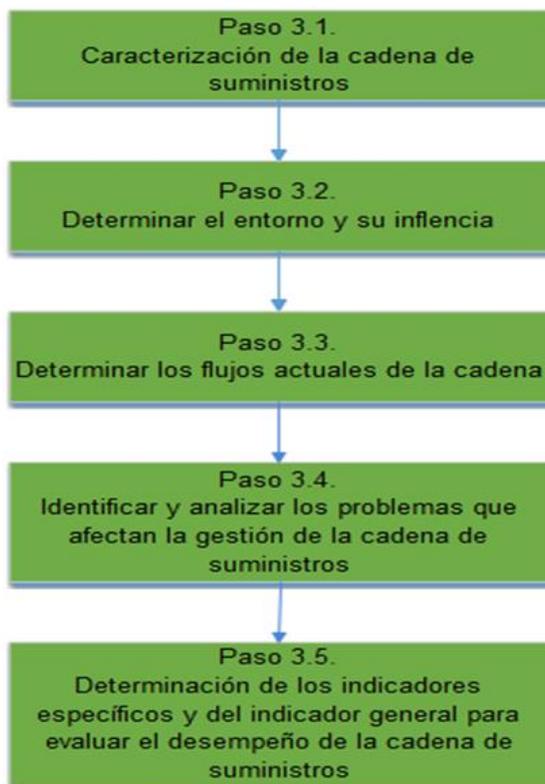
### Etapa 3. Análisis de la situación actual de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos

Esta etapa tiene particular importancia, no sólo por revelar los problemas que afectan la gestión de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos, sino también por brindar los datos necesarios sobre la red logística actual y todos sus componentes, que serán usados en etapas posteriores del procedimiento general.

Para darle cumplimiento a esta etapa, el autor propone un procedimiento específico para el análisis de la situación actual de la cadena de suministros de los residuos sólidos planteado en la figura 8. Este se ha estructurado en cinco pasos.

#### Figura 8

*Procedimiento específico para el análisis de la situación actual de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos*



**Nota:** Autor (2024)

### **Paso 3.1. Caracterización de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos**

Este paso incluye la realización de una descripción general de la cadena de suministros. Contiene la determinación de las funciones generales y tareas logísticas de la cadena, así como el método organizativo y las políticas y procedimientos clave. Se determinan elementos como la cultura empresarial de la cadena y la visión y misión de la misma, los cuales se hicieron desde el punto de vista de la definición de los procesos y requerimientos operacionales, los aspectos económicos, el impacto ambiental y la satisfacción del cliente. Para la ejecución del paso se emplean técnicas de análisis y recopilación de información y organigramas, entre otros. Este paso está conformado por cuatro actividades.

#### **Actividad a. Definición de los procesos**

El manejo y la disposición final de los residuos sólidos urbanos presentan desafíos y, a la vez, oportunidades para los países en vías de desarrollo y con poco progreso científico-tecnológico en este ámbito (Quillos, 2018). La gestión es un sistema completo desde la recolección de residuos hasta su tratamiento, que incluyen diversas actividades según el país o la ciudad (Hussein, 2018; Rathore, 2019; Kumar, 2020; Priya, 2021; Sumit, 2021). Las etapas básicas involucradas en el sistema de manejo de residuos sólidos son la generación, separación, tratamiento, compostaje y la disposición final.

Actualmente, los residuos se recolectan todos mezclados y llegan a un solo lugar en donde se acumula todo y se van separando para luego ser transportados a donde corresponda, dependiendo del tipo de residuos que sea.

#### **Recolección (generación)**

Es el punto de inicio de la cadena, se refiere a los sitios donde se acumulan los residuos sólidos urbanos, en diferentes categorías, como orgánicos, plástico, vidrio, papel, metal, entre otros, de los hogares, mercados, carreteras y calles, los cuales se ubican en sitios que deben estar definidos previamente por la empresa encargada de la recolección (Sumit, 2021). Estos lugares corresponden a las zonas donde están ubicados los contenedores en donde los habitantes deben colocar los residuos que generan. Para la cuantificación de la cantidad de

los residuos sólidos urbanos se utiliza el índice de generación de residuos sólidos per cápita (PPC), su estimación depende de la cantidad de población y características socioeconómicas (Silva, 2019). Viene expresada en las unidades kg/(hab.-día), con este índice se puede determinar la cantidad de maquinaria necesaria, así como el personal para las actividades de recolección.

Otro indicador que se puede estimar es el de cobertura de recolección, el cual se estima como la división del total de toneladas de residuos sólidos recolectados entre el total de toneladas generadas al día, expresada en porcentual (Silva, 2019). Hay de dos tipos: cobertura de recolección en relación con los residuos generados (Crg) y cobertura de recolección en relación con la cantidad de habitantes atendidos (Crc):

### **Sitios de transferencia/ separación**

Esto se refiere a las estaciones de transferencia que pueden existir para los casos en que el volumen de residuos sólidos sea muy grande para que los camiones compactadores puedan transportarlos hasta su destino final, o también puede ocurrir que las distancias que se deben recorrer hasta el sitio de disposición final sean muy largas. En este caso se hace uso de estaciones de transferencias en donde los camiones compactadores vierten los residuos sólidos que han sido recolectados de los sitios de generación, para proceder a su clasificación entre material de papel, cartón, plástico, vidrio, metal, material orgánico y desechos no recuperables; y de ahí son cargados por otros vehículos para llevarlos a tres destinos distintos que son los llamados de tratamiento, compostaje y disposición final. Las estaciones de transferencia son, entonces, sitios de acopio temporales de los residuos que se utilizan con el fin de transportar una mayor cantidad a un menor costo.

### **Sitios de tratamiento**

Es el sitio donde se almacenan los desechos separados en materiales de papel, cartón, plástico, vidrio y metal. Éstos serán enviados a los diferentes clientes para su utilización o comercialización como materia prima para las pequeñas, medianas o grandes empresas de la localidad o a nivel nacional.

## Sitios de compostaje

Sitio destinado al almacenaje del material orgánico, el que será enviado a los diferentes clientes que lo utilizarán como materia prima para actividades relacionadas con la agricultura (humus), o como combustible para las energías alternativas.

## Sitios de disposición final (relleno sanitario)

Constituye al relleno municipal, en el cual serán depositados los desechos que no se pueden recuperar.

### Actividad b. Determinación de los aspectos económicos de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos

La gestión de los residuos sólidos urbanos sigue caminos diferentes en los países desarrollados y en vías de desarrollo (Appel, 2020). En el primer caso, se centra en la jerarquía, que consiste en la prevención, reutilización, preparación para la reutilización, valorización y eliminación (Pin, 2018). De lo contrario, para los países en desarrollo, es generalmente insuficiente, con una cobertura de recolección de residuos incompleta, bajas tasas de separación en origen y recuperación de dichos residuos, que terminan mezclados y enviados a rellenos sanitarios o vertederos (Santos, 2019).

Lohri (2014), señala la importancia de un análisis económico detallado para asegurar la viabilidad económica de la gestión de residuos sólidos urbanos. Para Simões (2012), un análisis de costos es una forma de evaluar el rendimiento de los servicios de residuos y fomentar la eficiencia e innovación. Estas preocupaciones deben evaluarse juiciosamente en todos sus componentes, especialmente la recolección y el transporte, que gravan significativamente los costos (Vergara, 2016). Las herramientas actuales basadas en información son fundamentales en la localización de las instalaciones y la minimización de las distancias de transporte de residuos (Vázquez, 2017).

Desde el punto de vista económico, la gestión integral de los residuos sólidos urbanos se puede caracterizar por los parámetros de costos asociados a cada una de las etapas de este proceso, definidas en el punto anterior como: generación, separación, tratamiento, compostaje y disposición final.

Es importante considerar dos tipos de costos, los costos de operación y los costos de transportación. En cuanto a los costos de operación, éstos están relacionados con actividades como la clasificación, manipulación y almacenaje de los residuos sólidos urbanos.

En la operación de la manipulación hay que considerar los costos relacionados con maquinarias adecuadas para el acopio del material clasificado. Finalmente, el almacenaje, corresponde a los costos relacionados con los materiales clasificados hasta su traslado a su posterior destino. Estos costos de operación están presentes en las etapas de separación, tratamiento y compostaje como se determina en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Costos de operación y transportación de los residuos sólidos urbanos*

Operación	Separación	Tratamiento	Compostaje	Disposición final
Cantidades de residuos recolectados	X			
Cantidades de residuos tratados		X		
Cantidad de residuos dispuestos finalmente				X
Costos fijos de residuos tratados		X		
Costos variables de residuos tratados		X		
Costos fijos de residuos dispuestos finalmente				X
Costos variables de residuos dispuestos finalmente				X
Costos fijos de recolección	X			
Costos variables de recolección	X			
Costo total anual de operaciones del proceso	X	X	X	X
Gastos por compras de materiales	X	X	X	X
Ingresos totales				
<b>Transportación</b>				
Distancias	X	X	X	X
Costo transporte unitario promedio	X	X	X	X

**Nota:** Autor (2024)

En lo relacionado con los costos de trasportación, estos son considerados como un costo variable, ya que dependerá de la cantidad de viajes a realizar por los medios de transporte (camiones) adecuados para cada eslabón de la cadena, se puede determinar mediante la ecuación:

$$C_i = C_{vi} * C_{ui}$$

Donde

$C_i$ : costos de trasportación del camión  $i$ .

$C_{vi}$ : cantidad de viajes del camión  $i$ .

$C_{ui}$ : costo unitario del camión  $i$ .

En el cálculo de la cantidad de viajes que debe dar un camión se deben tener en cuenta los tiempos que toma en cargar, descargar y trasladarse el camión de un lugar a otro. Se determina con la ecuación:

$$C_{vi} = \frac{T}{t_c + t_{pi} + t_{pr} + t_d}$$

Siendo

$$t_{pi} = \frac{d}{v_i} + t_{poci}$$

$$t_{pr} = \frac{d}{v_i} + t_{pocr}$$

$T$ : período de trabajo.

$t_c$ : tiempo de carga.

$t_{pi}$ : tiempo de traslado de ida (cargado).

$t_{pr}$ : tiempo de traslado de retorno (descargado).

$t_d$ : tiempo de descarga.

$t_{poci}$ : tiempo perdido por otra causa en la ida.

$t_{pocr}$ : tiempo perdido por otra causa en el retorno.

$d$ : distancia de traslado.

$\bar{v}_i$ : velocidad promedio del camión de ida (cargado).

$\bar{v}_r$ : velocidad promedio del camión de retorno (descargado).

### Actividad c. Determinación de los aspectos ambientales

Para realizar el estudio de impacto ambiental de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos se necesita primero hacer una caracterización de los aspectos físicos, químicos, biológicos, culturales y ecológicas.

En lo relacionado con el aspecto físico, es necesario realizar una descripción de la topografía donde está funcionando la cadena de suministros, considerando aspectos que puedan afectar, como la hidrología y la geología. La caracterización climática se refiere, esta tiene que ver con los aspectos relacionados con las temperaturas ambientales, así como también las precipitaciones anuales. En la caracterización biológica, habrá que destacar aspectos relacionados con la flora, la fauna. Finalmente, es necesario caracterizar las zonas sensibles que pudieran ser afectadas por la cadena de suministros.

Una vez realizada la caracterización del área involucrada en este estudio, se procede a realizar la evaluación del impacto ambiental del proceso de gestión integral de residuos sólidos urbanos, para esto se consideró la matriz de Leopold (Alcocer et al., 2019).

La Matriz de Leopold consiste en un listado de 100 acciones que pueden causar impactos ambientales y 88 características ambientales. Esta combinación produce una matriz con 8.800 casilleros. En cada casillero, a su vez, se distingue entre magnitud e importancia del impacto, en una escala que va de uno a diez. La magnitud del impacto hace referencia a su cantidad física; si es grande o pequeño dependerá del patrón de comparación, y puede tener el carácter de positivo o negativo, si es que el tipo de modificación identificada es deseado o no, respectivamente. La importancia, que sólo puede recibir valores positivos, queda dada por la ponderación que se le asigne y puede ser muy diferente de la magnitud (Awazacko, 2014).

Se hizo una adaptación de la matriz (Anexo 3) para ser aplicada en esta investigación. Esta matriz se elaboró considerando los factores ambientales siguientes:

- a. Características físicas y químicas:
  - a. Tierra.
  - b. Agua.
  - c. Atmósfera.
  - d. Procesos.
- b. Condiciones biológicas:
  - a. Flora.
  - b. Fauna.
- c. Factores culturales:
  - a. Usos del territorio.
  - b. Estéticos y de interés humano.
  - c. Nivel cultural.
  - d. Servicio e infraestructura.
- d. Relaciones ecológicas.

Así mismo se consideraron que pueden causar impacto ambiental en el proceso de gestión integral de residuos sólidos urbanos las actividades propuestas siguientes:

- a. Recolección de residuos sólidos urbanos.
- b. Transporte de residuos sólidos urbanos.
- c. Tratamiento de residuos sólidos urbanos (compostaje y reciclaje).
- d. Disposición final de residuos sólidos urbanos (relleno sanitario).

Las instrucciones para su utilización son las siguientes:

1. Identificar todas las acciones (situadas en la parte superior de la matriz) que tienen lugar en el proyecto propuesto.
2. Bajo cada una de las acciones propuestas, dividir el cuadro en dos.
3. Una vez completa la matriz en la parte superior de cada cuadro dividido en dos, calificar de 1 a 10 la magnitud del posible impacto, 10 representa la máxima magnitud y 1 la mínima (el cero no es válido). Delante de cada calificación poner + si el impacto es beneficioso o – si el impacto es

negativo. En la parte inferior del cuadro calificar de 1 a 10 la importancia del posible impacto, 10 representa la máxima importancia y 1 la mínima (el cero no es válido).

4. El texto que acompaña la matriz consistirá en la discusión de los impactos más significativos, es decir aquellos cuyas filas y columnas están señalados con las mayores calificaciones y aquellas celdas suscritas con números superiores.

En cuanto a la medición del impacto ambiental, considerando los aspectos negativos y los positivos que se pueden obtener mediante la utilización de la matriz de Leopold, se calculan los índices con las expresiones siguientes:

$$IA = \frac{IAP}{IAN}$$

$$IAP = \sum_{i=1}^n MP_i$$

$$IAN = \sum_{j=1}^m MN_j$$

Donde:

IA: impacto ambiental

IAP: impacto ambiental positivo.

IAN: impacto ambiental negativo.

MP<sub>i</sub>: Magnitudes positivas i.

MN<sub>j</sub>: Magnitudes negativas j.

Lo que se busca es maximizar los impactos positivos y se minimicen los negativos.

#### **Actividad d. Determinación de los aspectos sociales de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos**

En cuanto al aspecto social se refiere, en la presente investigación se enfoca en los servicios al cliente como parte interesada fundamental de este proceso. Para

determinar la satisfacción de los clientes se aplicó el procedimiento propuesto por Hernández-Nariño (2010), en este se plantea la utilización de un instrumento que permite medir la satisfacción de los clientes considerando un conjunto de atributos, entre los que se encuentran el cumplimiento de las rutas de recolección, su frecuencia, trato de personal, entre otros, el cual se lo determina en la ecuación 8. En el anexo 4, se enlista los atributos que están relacionados con la mejora del servicio al cliente, el logro y la importancia que le da a cada uno de éstos dentro del proceso de gestión integral de residuos sólidos urbanos.

$$\text{Satisfacción de clientes} = \frac{\sum_{i=1}^n IA_i * EA_i}{5}$$

Donde:

n: cantidad de atributos.

IA<sub>i</sub>: Importancia del atributo i.

EA<sub>i</sub>: Estado actual del atributo i.

El valor de 5 que está en el denominador de la expresión matemática se corresponde al máximo valor posible que se puede tener en la escala del instrumento. Para seleccionar el valor esperado actual del atributo evaluado, se tomará la mediana si existe una alta dispersión en las respuestas, o se tomará la moda si la dispersión entre las respuestas es baja. La importancia se lo determina en forma ponderada y se considerará la cantidad de puntos acumulados.

### **Paso 3.2. Determinar el entorno y su influencia**

Las organizaciones enfrentan permanentemente influencias internas y de su entorno las que podrían afectar la ejecución de su planificación estratégica (Gutiérrez, 2018). Estas influencias a menudo son consideradas riesgos, aunque la mayoría de los autores reconocen su importancia, no existe consenso en la literatura respecto a la mejor definición del término riesgo (Ormella, 2016). Dichos riesgos siempre han estado presentes dentro las empresas, aunque abordados desde un enfoque financiero; sin embargo, se tiene más consciencia de ellos a partir de los últimos años (Lizarzaburu, 2019).

Un aspecto esencial de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos lo constituye el análisis del entorno (consideraciones ambientales, modos de transporte, manejo y almacenamiento, etc.) en que se desenvuelve, sus componentes, con sus amenazas y oportunidades y sus características internas; es decir, sus fortalezas y debilidades. La dimensión externa de la cadena exige considerar un conjunto de factores que operan en su contexto y que pueden dar lugar a la aparición de oportunidades y amenazas; así como a la intensidad con que estas se manifiestan. Por lo que en esta etapa se puede realizar un análisis FODA de la cadena estudiada, que servirán para identificar los problemas que afectan a la gestión de la cadena de suministros.

Este análisis se debe realizar tomando en cuenta la norma ISO 31000:2018 de Gestión de Riesgos, que permitirá incorporar estándares y procesos de alto nivel para evaluar y mitigar riesgos en todas sus operaciones. El análisis del contexto externo puede incluir:

- Los factores sociales, culturales, políticos, legales, reglamentarios, financieros, tecnológicos, económicos y ambientales;
- Los impulsores clave y las tendencias que afectan a los objetivos de la organización; y
- Las relaciones contractuales y los compromisos.

El análisis del contexto interno de la organización puede incluir, pero no limitarse a:

- La visión, la misión y los valores;
- La gobernanza, la estructura de la organización, los roles y la rendición de cuentas;
- La estrategia, los objetivos y las políticas;
- La cultura de la organización;
- Las normas, las directrices y los modelos adoptados por la organización;
- Las capacidades, entendidas en términos de recursos y conocimiento (por ejemplo, capital, tiempo, personas, propiedad intelectual, procesos, sistemas y tecnologías);
- Los datos, los sistemas de información y los flujos de información;

- Las relaciones con partes interesadas internas, teniendo en cuenta sus percepciones y valores;
- Las relaciones contractuales y los compromisos; y
- Las interdependencias e interconexiones.

### **Paso 3.3. Definir los flujos actuales de la cadena**

En este sentido, se determina el flujo de los residuos generados, el flujo financiero presentes en la cadena y el de la información asociada a estos. Una forma de representar detalladamente el flujo material es el diagrama de flujo. También se puede utilizar un esquema de la red logística para su representación, así como también el diagrama de Forrester.

### **Paso 3.4. Identificar y analizar los problemas que afectan la gestión de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos**

Para este aspecto se debe utilizar como complemento la aplicación de encuestas para identificar los problemas que afectan la gestión de la cadena de suministros de los RSU a dos grupos. El primer grupo dirigido a los que conforman la cadena de suministros de residuos sólidos urbanos, conformado por directivos y operarios de ésta.

El otro grupo, está dirigido a los clientes de la mencionada cadena de suministros. Para efectos de esta investigación se toma una muestra para aplicar estas encuestas, utilizando la expresión 9 (García-García, 2013):

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{(N - 1) * e^2 * + Z^2 * p * q}$$

En esta fase se identifican, precisan, enriquecen y priorizan los problemas detectados. Después de concluido el análisis de las encuestas, tomando en consideración la complejidad y características del trabajo a realizar, se agrupan los problemas generales que provocan la deficiente gestión de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos. Para organizar estos problemas según su importancia se aplica un método de expertos, teniendo en cuenta que los mismos deben ser tales que sus motivaciones e intereses no se superpongan con el problema que deben abordar, evidenciando imparcialidad.

### **Paso 3.5. Determinación de los indicadores específicos y del indicador integral para evaluar el desempeño de la cadena de suministros**

Para evaluar el desempeño integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos en el estado actual, se calculan los indicadores específicos relacionados con la sostenibilidad y el indicador integral Nivel de Desempeño Integral de la Cadena de Suministros antes (NDICS). Este paso se conforma por tres actividades

#### **Actividad a. Definición de los criterios**

Mediante el trabajo de expertos se establecen los criterios a utilizar en cada eslabón y en la cadena. La modelización de los criterios puede ser lograda buscando un desarrollo sostenible de la actividad y tomando en consideración los componentes del servicio al cliente. Por ello los criterios se agrupan en tres grandes categorías:

1. Eficiencia económica: razón costo/beneficio, productividad y calidad.
2. Calidad ambiental: reducir pérdidas, contaminación y aumentar los beneficios del entorno.
3. Impacto social: mejora de las condiciones de trabajo e incremento de los beneficios sociales.

#### **Actividad b. Determinación de la importancia relativa (peso) de los criterios**

Para el cálculo del peso pueden emplearse métodos objetivos (método de la entropía o método de Diakoulaki) y/o subjetivos (método AHP de Saaty, método de ordenación simple, método de tasación simple, etc.). Cualquiera de los métodos anteriormente mencionados (incluso una combinación de estos) pueden ser utilizados para calcular el peso de cada criterio, dependiendo de que exista la información para su empleo.

#### **Actividad c. Determinación del indicador integral**

Es importante aclarar que este indicador considera algunos elementos aportados por Marrero Delgado (2001) y Knudsen González (2005), pero enfocándolos como procesos logísticos y otros aspectos que el autor considera pertinente incluir. Para la determinación del indicador integral NDICS se emplean las expresiones siguientes (Alcocer Quinteros & Knudsen González, 2019):

$$NDICS = \sum_{j=1}^n W_j * c_j \quad j= 1(\wedge)n$$

$$c_j = \sum_{i=1}^{m_j} W_{ji} * C_{ji} \quad j= 1(\wedge)n \text{ y } i= 1(\wedge) n$$

Para factores a maximizar

$$C_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{si } E_{ji} (real) \geq E_{ji} (plan) \\ E_{ji}(real)/E_{ji}(plan) & \text{si } E_{ji} (real) < E_{ji} (plan) \end{cases}$$

Para factores a minimizar

$$C_{ji} = \begin{cases} (real)/E_{ji}(plan) & \text{si } E_{ji} (real) > E_{ji} (plan) \\ 1 & \text{si } E_{ji} (real) \leq E_{ji} (plan) \end{cases}$$

Donde:

NDICS: nivel de desempeño integral de la cadena de suministros.

$W_j$ : importancia relativa del criterio  $j$  (obtenido a través del Método AHP).

$C_j$ : calificación del criterio  $j$ .

$W_{ji}$ : importancia relativa del factor  $i$  correspondiente al criterio  $j$  (obtenido a través del Método AHP).

$C_{ji}$ : Nivel de acercamiento del comportamiento del factor  $i$  correspondiente al criterio  $j$  a su nivel teórico.

$E_{ji} (real)$ : valor real del factor  $i$  correspondiente al criterio  $j$ .

$E_{ji} (plan)$ : valor plan del factor  $i$  correspondiente al criterio  $j$ .

$n$ : cantidad de criterios a utilizar en la evaluación.

$m_j$ : cantidad de factores correspondientes  $j$ .

Los factores para maximizar constituyen los valores relacionados con:

- Cantidad de residuos sólidos urbanos recolectados;
- Cantidad de residuos sólidos urbanos tratados;
- Satisfacción del cliente; e
- Impacto ambiental.

Mientras que los factores a minimizar son:

- Costos de operación y transportación; y
- Cantidad de residuos sólidos urbanos en disposición final

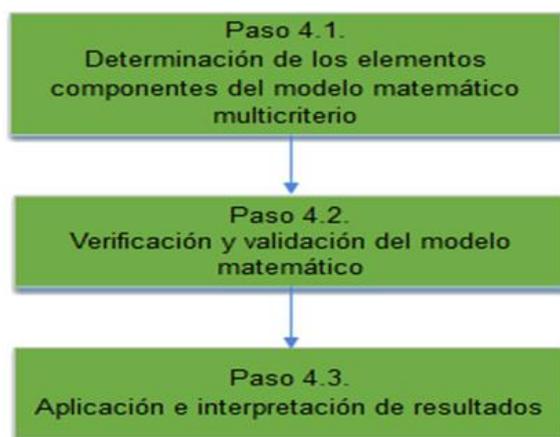
En lo relacionado con el valor plan, constituye los valores que se fijan de acuerdo a las metas de los directivos proporcionados en el Plan Operativo Anual (POA) de la institución.

#### Etapa 4. Obtención y aplicación del modelo matemático multicriterio

En esta etapa se decide desarrollar un método multicriterio continuo, evaluando diversas alternativas de solución aplicando las categorías de indicadores como por ejemplo la capacidad de las unidades de transporte, de servicios, uso de las unidades de transporte, cantidades a transportar, costos de transporte, velocidad, tiempo involucrado en la movilización de los residuos, así como las distancias recorridas. Para desarrollar esta etapa se aplica el procedimiento específico de la figura 9.

#### Figura 9

*Procedimiento específico para la obtención del modelo matemático multicriterio*



**Nota:** Autor (2024)

#### Paso 4.1. Determinación de los elementos componentes del modelo matemático multicriterio

El modelo matemático multicriterio propuesto presenta la característica de ser flexible en el sentido de que puede aplicarse a cadenas de suministros de residuos sólidos urbanos de los cantones de Ecuador, aumentando o

disminuyendo restricciones, variables de decisiones, según sus necesidades, para su mejoramiento (Alcocer, Knudsen, Marrero, & Miranda, 2020).

En este paso, se consideran desde el aspecto físico y geográfico, los orígenes y destinos de los envíos que se hacen llegar mediante la cadena de suministros, las unidades de transporte, los clientes involucrados, las disponibilidades de materiales o residuos, los requerimientos y los costos implícitos en los traslados y movimientos tomando en cuenta, además, los recorridos efectuados, así como el tiempo que se consume en cada proceso de transporte de residuos. Como todo modelo constituye una representación aproximada de la realidad, se debe considerar un conjunto de supuestos, que para el caso analizado son los siguientes:

- El modelo contempla varios residuos;
- La localización de los suministradores y clientes es conocida;
- La posible localización de los centros de recolección y de las plantas de tratamiento y compostaje son conocidas;
- Las capacidades de los centros de recolección son conocidas;
- La generación de los residuos y la demanda de las materias primas recuperadas tienen comportamiento estocástico;
- La cantidad y capacidad de los medios de transporte potenciales son conocidas;
- Los flujos solamente son permitidos entre dos eslabones consecutivos de la cadena, no se permiten flujos entre elementos del mismo eslabón, ni saltarse eslabones; y
- Los costos fijos y variables de producción, transportación son conocidos y determinísticos.

Dado esto, se procede a definir, los índices, las variables, las condiciones, restricciones y holguras significativas. Todo esto para especificar el diseño del modelo de programación lineal multicriterio.

Se plantea como objetivo general presentar un modelo matemático multicriterio que sirva para la integración de las variables económicas, impacto ambiental y satisfacción al cliente del proceso de gestión integral de la cadena de suministros.

Entre los objetivos específicos se mencionan:

- a. Analizar el comportamiento de las variables o factores involucrados en la gestión integral de la cadena de suministros.
- b. Integrar las variables o factores de la gestión integral de la cadena, en un conjunto de ecuaciones e inecuaciones que modelen el comportamiento del proceso.
- c. Crear las bases para la propuesta de un método de intervención profesional que favorezca la gestión del estado de las variables o factores, de modo que se promueva una mejora u optimización en el proceso de gestión integral de la cadena de suministros.

### **Datos de entrada**

Una vez formulado el modelo y definida la red de la cadena de suministro se procede a definir el conjunto de elementos que forman parte del modelo, así como las variables de decisión y los parámetros a considerar.

### **Conjuntos**

Estos representan a cada uno de los grupos de datos que intervienen en el modelo multiobjetivo, entre ellos se encuentran los participantes que se muestran en la red de la cadena, así como lo relacionado con los materiales o productos a reciclar y los medios de transporte que se usan para tal fin, estos permiten definir posteriormente las dimensiones de las matrices de datos de los parámetros que forman parte de las restricciones o limitaciones que tiene el sistema estudiado, estos conjuntos son:

- a. Conjunto de fuentes generadoras de residuos sólidos urbanos.
- b. Conjunto de sitios de separación de los residuos sólidos urbanos.
- c. Conjunto de centros de tratamiento de residuos sólidos urbanos.
- d. Conjunto de sitios de disposición final (relleno sanitario).
- e. Conjunto de centros de compostaje.
- f. Conjunto de clientes de los centros de tratamiento.
- g. Conjunto de clientes de los centros de compostaje.
- h. Conjunto de medios de transporte potenciales.
- i. Conjunto de residuos o productos a reciclar.

- I: sitios de generación ( $i= 1, 2, \dots, m_i$ ).
- J: centros de separación ( $j=1, 2, \dots, m_j$ ).
- K: centros de tratamiento ( $k=1, 2, \dots, m_k$ ).
- L: centros de compostaje ( $l =1, 2, \dots, m_l$ ).
- M: relleno sanitario ( $m=1, 2, \dots, m_m$ ).
- O: clientes de los productos tratados ( $o= 1, 2, \dots, m_o$ ).
- R: clientes de los productos de compostaje ( $r= 1, 2, \dots, m_r$ ).
- P: camiones de generación a separación ( $p = 1, 2, \dots, m_p$ ).
- Q: camiones de separación a centros de tratamiento ( $q=1, 2, \dots, m_q$ ).
- T: camiones de separación a compostaje ( $t= 1, 2, \dots, m_t$ ).
- S: camiones de tratamiento a clientes ( $s=1, 2, \dots, m_s$ ).
- W: camiones de separación a relleno sanitario ( $w= 1, 2, \dots, m_w$ ).
- U: camiones de compostaje a clientes ( $u=1, 2, \dots, m_u$ ).
- V: cantidad de productos de separación a centros de tratamientos ( $v=1, 2, \dots, m_v$ ).
- I<sub>a</sub>: Impacto de recolección. \*
- I<sub>b</sub>: Impacto de transporte \*.
- I<sub>c</sub>: Impacto de compostaje y reciclaje \*.
- I<sub>d</sub>: Impacto de relleno sanitario \*.

\* Tomados de la matriz Leopold.

### Parámetros

Los parámetros son los elementos del modelo matemático que permitirán estimar los valores de las variables de decisión en las funciones objetivo, así como formular las restricciones, estos representan los datos necesarios y los coeficientes de las variables de decisión para realizar el proceso de cálculo y optimización de las funciones objetivo. Son entre otros las capacidades de los conjuntos del modelo, los valores de demanda de los clientes, los valores sobre

impactos ambientales, las distancias recorridas entre los involucrados en la cadena de suministro y los costos asociados a cada uno de estos.

### **Variables de decisión**

Estas representan las incógnitas del modelo matemático multiobjetivo, que hay que establecer para poder alcanzar la meta de la optimización; se identifican las pertinentes para la formulación de las funciones objetivo, de forma tal que en su estructura haya una relación que indique una integración entre éstas, las cuales son las cantidades de residuos sólidos urbanos que fluyen a través de la cadena de suministro, que inicia con los generadores (sitios en donde están acumulados los residuos sólidos urbanos), pasando por los sitios de separación, que luego servirán al sitio de tratamiento, el relleno sanitario, el de compostaje, y ambos a su vez servirán a sus respectivos clientes. Otras variables de decisión a considerar son la cantidad de viajes que se deben realizar entre cada una de los involucrados en la cadena de suministro (Anexo 10).

$X_{ijp}$ : cantidad de RSU a trasladar en el camión  $p$  desde el destino final de la ruta de recolección  $i$  al centro de separación  $j$  en el período (kg).

$X_{jkqv}$ : cantidad de productos  $v$  a trasladar en el camión  $q$  desde el centro de separación  $j$  al de tratamiento  $k$  en el período (kg).

$X_{jlt}$ : cantidad de productos a trasladar en el camión  $t$  desde el centro de separación  $j$  al de compostaje  $l$  en el período (kg).

$X_{jmw}$ : cantidad de RSU no recuperables a trasladar en el camión  $w$  desde el centro de separación  $j$  al relleno sanitario  $m$  en el período (kg).

$X_{kosv}$ : cantidad de productos  $v$  tratados a trasladar en el camión  $s$  desde el centro de tratamiento  $k$  al cliente  $o$  en el período (kg).

$X_{lru}$ : cantidad de productos de compostaje a trasladar en el camión  $u$  desde el centro de compostaje  $l$  al cliente  $r$  en el período (kg).

$Y_{ijp}$ : variable binaria de uso del camión  $p$  para ir del sitio de recolección  $i$  al centro de separación  $j$  en el período.

$Y_{jkq}$ : variable binaria de uso del camión  $q$  para ir del centro de separación  $j$  al de tratamiento  $k$  el período.

$Y_{jmw}$ : variable binaria de uso del camión  $w$  para ir del centro de separación  $j$  al relleno sanitario  $m$  en el período.

$Y_{jlt}$ : variable binaria de uso del camión  $t$  para ir del centro de separación  $j$  al de compostaje  $l$  en el período.

$Y_{kos}$ : variable binaria de uso del camión  $s$  para ir del centro de tratamiento  $k$  a los clientes  $o$  en el período.

$Y_{lru}$ : variable binaria de uso del camión  $u$  para ir del centro de compostaje  $l$  a los clientes  $r$  de compostaje en el período.

$C_{ijp}$ : costo de transportación del camión  $p$  de la generación  $i$  al centro de separación  $j$  en el período (\$).

$C_{up}$ : costo de un viaje del camión  $p$  en el período (\$).

$C_j$ : costos de operación del centro de separación  $j$  en el período (\$).

$C_{jkq}$ : costos de transportación del camión  $q$  para ir del centro de separación  $j$  al de tratamiento  $k$  en el período (\$).

$C_{uq}$ : costo de un viaje del camión  $q$  en el período (\$).

$C_k$ : costos de operación del centro de tratamiento  $k$  en el período (\$).

$C_{jlt}$ : costos de transportación del camión  $t$  para ir del centro de separación  $j$  al de compostaje  $l$  en el período (\$).

$C_{ut}$ : costo de un viaje del camión  $t$  en el período (\$).

$C_l$ : costos de operación del centro de compostaje  $l$  en el período (\$).

$C_{jmw}$ : costos de transportación del camión  $w$  para ir del centro de separación  $j$  al relleno sanitario  $m$  en el período (\$).

$C_{uw}$ : costo de un viaje del camión  $w$  en el período (\$).

$C_{kos}$ : costos de transportación del camión  $s$  para ir del centro de tratamiento  $k$  a los clientes  $o$  en el período (\$).

$C_{us}$ : costo de un viaje del camión  $s$  en el período (\$).

Clru: costos de transportación del camión u para ir del centro de compostaje l a los clientes r en el período (\$).

Cuu: costo unitario del camión u en el período (\$).

Dijp: distancia a recorrer el camión p entre el sitio de generación i al centro de separación j en el período (Km).

Djkq: distancia a recorrer el camión q entre el centro de separación j al de tratamiento k en el período (Km).

Djmw: distancia a recorrer el camión w entre el centro de separación j y el relleno sanitario m en el período (Km).

Djlt: distancia a recorrer el camión t entre el centro de separación j u el de compostaje en el período (Km).

Dkos: distancia a recorrer el camión s entre el centro de tratamiento k al cliente de tratamiento o en el período (Km).

Diru: distancia a recorrer el camión u entre el centro de compostaje l al cliente de compostaje r en el período (Km).

CSj: capacidad del centro de separación j (kg).

CTk: capacidad del centro de tratamiento k (kg).

CCI: capacidad del centro de compostaje l (kg).

CRSm: capacidad del relleno sanitario m (kg).

DCo: demanda de los clientes de tratamiento o.

DCr: demanda de los clientes de compostaje r.

CVijp: cantidad de viajes en el período del camión p desde el centro de generación i al sitio de separación j en el período.

CVjkqv: cantidad de viajes en el período del camión q desde el centro de separación j al de tratamiento k de los productos v en el período.

CVjlt: cantidad de viajes en el período del camión t desde el centro de separación j al de compostaje l en el período.

CVjmw: cantidad de viajes en el período del camión w desde el centro de separación j al relleno sanitario m en el período.

CVkosv: cantidad de viajes en el período del camión s desde el centro de tratamiento k al cliente o de los productos v en el período.

CVlru: cantidad de viajes en el período del camión u desde el centro de compostaje l al cliente r en el período.

Cp: capacidad del camión p en un viaje (kg).

Cq: capacidad del camión q en un viaje (kg).

Ct: capacidad del camión t en un viaje (kg).

Cw: capacidad del camión w en un viaje (kg).

Cs: capacidad del camión s en un viaje (kg).

Cu: capacidad del camión u en un viaje (kg).

Tt: tiempo del período de trabajo (h).

tcpi: tiempo de carga del camión p en el sitio de generación i (h).

tdpj: tiempo de descarga del camión p en el sitio de separación j (h).

tpij: tiempo de traslado del camión p entre el sitio de generación i al de separación j (h).

Vpij: velocidad promedio del camión p entre el sitio de generación i al de separación j (Km/h).

tcqj: tiempo de carga del camión q en el sitio de separación j (h).

tdqk: tiempo de descarga del camión q en el sitio de tratamiento k (h).

tqjk tiempo de traslado del camión q entre el sitio de separación j al centro de tratamiento k (h).

Vqjk: velocidad promedio del camión q entre el sitio de separación j al centro de tratamiento k (Km/h).

tctj: tiempo de carga del camión t en el sitio de separación j (h).

tdtl: tiempo de descarga del camión t en el centro de compostaje l (h).

ttjl: tiempo de traslado del camión l entre el sitio de separación j al centro de compostaje l (h).

Vtjl: velocidad promedio del camión t entre el sitio de separación j al centro de compostaje l (Km/h).

tcwj: tiempo de carga del camión w en el sitio de separación j (h).

tdwm: tiempo de descarga del camión w en el relleno sanitario m (h).

twjm: tiempo de traslado del camión w entre el sitio de separación j y el relleno sanitario m (h).

Vwjm: velocidad promedio del camión w entre el sitio de separación j y el relleno sanitario m (Km/h).

tcsk : tiempo de carga del camión s en el centro de tratamiento k (h).

tdso: tiempo de descarga del camión s en el cliente de tratamiento o (h).

tsko: tiempo de traslado del camión s entre el centro de tratamiento k al cliente de tratamiento o (h).

Vsko: velocidad promedio del camión s entre el centro de tratamiento k al cliente de tratamiento o (Km/h).

tcuI: tiempo de carga del camión u en el centro de compostaje l (h).

tdur: tiempo de descarga del camión u en el cliente de compostaje r (h).

tulr: tiempo de traslado del camión u entre el centro de compostaje l y el cliente de compostaje r (h).

Vulr: velocidad promedio del camión u entre el centro de compostaje y el cliente de compostaje r (Km/h).

C<sub>up</sub>: combustible, lubricante, mano de obra, mantenimiento, carga, descarga.

C<sub>j</sub>: manipulación, clasificación, almacenaje.

C<sub>k</sub>: manipulación, clasificación.

C<sub>i</sub>: manipulación, almacenaje.

## Estructura del modelo

El modelo matemático, se ajusta al conflicto de solución de dos o más funciones objetivos con restricciones específicas para cada función, es el que está enmarcado en el método de algoritmos evolutivos multiobjetivo (Alcocer et al., 2020), el que está regida por cuatro funciones objetivos principales,  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  y  $Z_4$ . La primera se trata de la minimización de los costos involucrados en las operaciones y transporte de los RSU, la segunda función involucra la minimización de la distancias recorridas por los camiones, la tercera función que implica el aspecto social que contempla la maximización del servicio prestado, como por ejemplo, beneficios al trasladar la mayor cantidad posible de los mismos, desde los puntos de origen o recolección hasta las destinos programados y la última sobre el impacto ambiental. Todas estas funciones sujetas a restricciones tanto administrativas como operativas, con la finalidad de dar respuesta al objetivo general de la investigación y así satisfacer las necesidades sociales detectadas en el planteamiento de la problemática objeto de estudio (Alcocer et al., 2020).

Función Objetivo Minimizar  $Z_1$

$$Z_1 = \sum_i \sum_j \sum_P X_{ijp} (C_{ijp} + C_j) + \sum_j \sum_k \sum_q \sum_v X_{jkqv} (C_{jkqv} + C_k) \\ + \sum_j \sum_l \sum_t X_{jlt} (C_{jlt} + C_l) + \sum_j \sum_m \sum_w X_{jmw} (C_{jmw}) \\ + \sum_k \sum_o \sum_s \sum_v X_{kosv} (C_{kosv}) + \sum_l \sum_r \sum_u X_{lru} (C_{lru})$$

Función Objetivo minimizar  $Z_2$

$$Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_P D_{ijp} (Y_{ijp}) + \sum_j \sum_k \sum_q D_{jkq} (Y_{jkq}) + \sum_j \sum_m \sum_w D_{jmw} (Y_{jmw}) \\ + \sum_j \sum_l \sum_t D_{jlt} (Y_{jlt}) + \sum_k \sum_o \sum_s D_{kos} (Y_{kos}) \\ + \sum_l \sum_r \sum_u D_{lru} (Y_{lru})$$

Función Objetivo maximizar  $Z_3$

$$Z_3 = \sum_i \sum_j \sum_p X_{ijp} + \sum_j \sum_k \sum_q \sum_v X_{jkqv} + \sum_j \sum_l \sum_t X_{jlt} + \sum_j \sum_m \sum_w X_{jmw} \\ + \sum_k \sum_o \sum_s \sum_v X_{kosv} + \sum_l \sum_r \sum_u X_{lru}$$

Función Objetivo maximizar  $Z_4$

$$Z_4 = I_a \left( \sum_j \sum_k \sum_q \sum_v X_{jkqv} + \sum_j \sum_l \sum_t X_{jlt} \right) \\ + I_c \left( \sum_k \sum_o \sum_s \sum_v X_{kosv} + \sum_l \sum_r \sum_u X_{lru} \right) \\ - I_b \left( \sum_i \sum_j \sum_p X_{ijp} + \sum_j \sum_m \sum_w X_{jmw} \right) - I_d \left( \sum_j \sum_m \sum_w X_{jmw} \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_i \sum_j \sum_p X_{ijp} \leq CS_j,$$

$$\sum_j \sum_k \sum_q \sum_v X_{jkqv} \leq CT_k,$$

$$\sum_j \sum_l \sum_t X_{jlt} \leq CCl$$

$$\sum_j \sum_m \sum_w X_{jmw} \leq CRS_m,$$

$$\sum_k \sum_o \sum_s \sum_v X_{kosv} \geq DCov,$$

$$\sum_j \sum_r \sum_u X_{lru} \geq DCr$$

$$0 \leq \sum_i \sum_j \sum_p Y_{ijp} \leq 1,$$

$$M(Y_{ijp}) \geq X_{ijp},$$

$$0 \leq \sum_j \sum_k \sum_q \sum_v (Y_{jkqv}) \leq 1$$

$$M(Y_{jkqv}) \geq X_{jkqv}$$

$$0 \leq \sum_j \sum_l \sum_t (Y_{jlt}) \leq 1$$

$$M(Y_{jlt}) \geq X_{jlt}$$

$$0 \leq \sum_j \sum_m \sum_w (Y_{jmw}) \leq 1$$

$$M(Y_{jmw}) \geq X_{jmw}$$

$$0 \leq \sum_k \sum_o \sum_s (Y_{kos}) \leq 1$$

$$M(Y_{kos}) \geq X_{kos}$$

$$0 \leq \sum_l \sum_r \sum_u (Y_{lru}) \leq 1$$

$$M(Y_{lru}) \geq X_{lru}$$

$$X_{ijp} \leq C_{vijp} * C_p$$

$$C_{vijp} = \frac{T_t}{T_{cpi} + T_{pij} + T_{dpj}} \quad (\text{redondeo por debajo del entero})$$

$$T_{pij} = d_{ij} / \tilde{V}_{pij}$$

$$X_{jkq} \leq C_{vj kq} (C_q)$$

$$C_{vj kq} = \frac{T_t}{T_{c qj} + T_{qjk} + T_{dqk}} \quad (\text{redondeo por debajo del entero})$$

$$T_{qjk} = d_{jk} / \tilde{V}_{qjk}$$

$$X_{jlt} \leq C_{vjlt} (C_t)$$

$$C_{vjlt} = \frac{T_t}{T_{ctj} + T_{tjl} + T_{dtl}} \quad (\text{redondeo por debajo del entero})$$

$$T_{tjl} = d_{jl} / \tilde{V}_{tjl}$$

$$X_{jmw} \leq C_{vjm}w (C_w)$$

$$C_{vjm}w = \frac{T_t}{T_{cwj} + T_{wjm} + T_{dwm}} \quad (\text{redondeo por debajo del entero})$$

$$T_{wjm} = d_{jm} / \tilde{V}_{wjm}$$

$$X_{kos} \leq C_{vks} (C_s)$$

$$C_{vks} = \frac{T_t}{T_{csk} + T_{sko} + T_{dso}} \quad (\text{redondeo por debajo del entero})$$

$$T_{sko} = d_{ko} / \tilde{V}_{sko}$$

$$X_{lru} \leq C_{vlru} (C_s)$$

$$C_{vlru} = \frac{T_t}{T_{clu} + T_{lru} + T_{dru}} \quad (\text{redondeo por debajo del entero})$$

$$T_{lru} = d_{lr} / \tilde{V}_{lru}$$

$$C_{ijp} = C_{vijp} * (C_{up})$$

$$C_{ikq} = C_{vjikq} * (C_{uq})$$

$$C_{ilt} = C_{vjilt} * (C_{ut})$$

$$C_{jmw} = C_{vjm}w * (C_{uw})$$

$$C_{kos} = C_{vks} * (C_{us})$$

$$C_{lru} = C_{vlru} * (C_{um})$$

La capacidad disponible de transportación de cada camión, (P, Q, T, S) es menor o igual a la suma del total de cada camión disponible.

M es un número que la cantidad de material que se pueda transportar en el período por el camión de mayor capacidad.

#### Paso 4.2. Verificación y validación del modelo matemático

Para la verificación del modelo se hace una corrida con un conjunto pequeño de datos y con expertos evaluar los resultados obtenidos. Por otro lado, se hace necesario aplicar una herramienta que permita validar la factibilidad de aplicación del modelo matemático abordado (Pereira, 2008). En este sentido, es posible

utilizar el criterio de expertos como método cualitativo, basado en la experiencia y conocimiento de un grupo de sujetos considerados expertos en el tema a tratar.

Se trata de un proceso sistemático, formal y profundo para obtener y probar el modelo matemático en cuestión (Hurtado de Mendoza, 2010). También permite comprobar la calidad y efectividad de los resultados de la investigación, tanto en su concepción teórica como en su factibilidad (Lissabet, 1998). En esta investigación se emplea el procedimiento propuesto por Vinajera-Zamora (2017).

### **Paso 4.3. Aplicación e interpretación de los resultados**

Una vez elaborado el modelo matemático multicriterio que permitirá la optimización del desempeño de la cadena de suministros, se procede a la solución e interpretación de los resultados y hacer una comparación de la situación actual, de forma tal que se planteen lineamientos que puedan ayudar a mejorar el proceso desde el punto de vista económico, ambiental y social. La interpretación de los resultados permite conformar el cómo debe funcionar la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos del cantón estudiado.

### **2.2.3.Fase III. Comprobar**

Etapa 5. Determinación y comparación del indicador integral y los indicadores específicos después de aplicar la modelación matemática, para evaluar el desempeño de la cadena de suministros

Con la obtención del NDICS estimado se obtendrá una visión general de la cadena tomando como base el resultado de varios criterios y se hará una comparación con el que se tenía al inicio de la investigación. Lo que se pretende es determinar los posibles problemas que se podrían afectar al funcionamiento de la cadena, una vez aplicado el procedimiento y tomar decisiones de mejora para su buen funcionamiento. Estos problemas serán identificados, agrupados, enriquecidos y validados mediante el grupo de expertos, donde pudiera utilizarse un diagrama causa-efecto para una mejor comprensión de los problemas que afectan el desempeño de la cadena de suministro.

## 2.2.4. Fase IV. Actuar

Etapa 6. Seguimiento y control de la cadena de suministros

Esta fase resulta de vital importancia al exigir el mantenimiento de un control y vigilancia sistemática sobre el proceso y la evaluación del desempeño, y así facilitar la retroalimentación efectiva para la mejora continua (Morejón-Borjas, 2012). Para efectuar el seguimiento y control del comportamiento de la cadena de suministro de los residuos sólidos urbanos se deben ejecutar los pasos siguientes (Knudsen-González, 2005):

- a. Análisis del comportamiento de cada indicador respecto a su valor teórico.
- b. Elaboración del plan de medidas para corregir desviaciones.
- c. Divulgación y ejecución del plan de medidas.

El análisis del comportamiento de cada indicador respecto a su valor teórico o se lo realiza comparando con relación a su valor ideal, lo cual va a detectar las desviaciones que se puedan surgir. Para corregir desviaciones se elabora el plan de medidas teniendo en cuenta las fechas de cumplimiento y los responsables. Mediante la divulgación y ejecución del plan de medidas se le informa a cada integrante de la cadena las medidas que debe adoptar en cada momento para mejorar su desempeño y lograr una integración total en el funcionamiento de ésta. Posteriormente se debe controlar el plan de medidas adoptado.

Por último, es importante destacar que el desempeño ideal de la cadena de suministro es cuando el indicador NDICS es igual a la unidad, por lo que si existen desviaciones se tendrá que realizar una retroalimentación hacia cualquiera de las etapas, donde podrán ser adoptadas estrategias nuevas en función del desempeño actual de la cadena de suministro a partir del comportamiento de dicho indicador.

## 2.3. Conclusiones parciales

1. El procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros, es una novedad científica que permite diagnosticar el nivel en que se

- encuentra y en consecuencia proyectar, mediante un modelo matemático multicriterio, el cual analiza el comportamiento de las variables involucradas, tanto en sus eslabones independientes como en su integración y considerando los tres aspectos de la sostenibilidad, las políticas para el mejoramiento gradual de dicha gestión.
2. El enfoque de cadena de suministros de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos constituye un aporte científico ya que las referencias que se encontraron en la literatura consultada se limitan a realizar el análisis de una manera aislada y no tener una visión completa de toda la cadena que en este sentido tiene dicho enfoque.
  3. Los indicadores utilizados que cuantifican la cantidad de residuos sólidos urbanos recolectados en relación con los procesados, la efectividad de las unidades de transporte, el aprovechamiento de la capacidad de los medios de transporte y el tiempo efectivo de transporte desde los centros de recolección hasta cada cliente. Todo lo cual ayuda a analizar en qué medida se cumple la misión para la que está la cadena.
  4. El indicador integral creado en el procedimiento general constituye otra novedad que permite medir el nivel de desempeño de la cadena de suministro de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, lo cual resulta necesario al analizar en qué medida cumple con la misión y los objetivos propuestos. En la validación del indicador las comparaciones pareadas del Método AHP resultan de suma utilidad práctica al hacer más objetiva las opiniones de diferentes expertos en cuanto al nivel de importancia relativa entre los criterios y factores que lo conforman, utilizando su estructura jerárquica.
  5. La identificación de los aspectos y evaluación de la significación de los impactos ambientales en la cadena de suministro de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos a partir del procedimiento específico elaborado en la presente Tesis Doctoral contribuye al fortalecimiento de la gestión medioambiental de las organizaciones, materializando lo expuesto en las definiciones de logística y de la aplicación del enfoque logístico al caso de los residuos.



**CAPITULO**

**03**

**APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO  
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA  
GESTIÓN INTEGRAL DE LOS  
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON  
UN ENFOQUE DE CADENA DE  
SUMINISTROS EN EL CANTÓN  
QUEVEDO**



# Aplicación del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros en el Cantón Quevedo

Tomando en consideración el enfoque dado al problema científico caracterizado en la introducción de esta Tesis Doctoral, se consideró pertinente orientar la comprobación práctica hacia el estudio detallado de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos del Cantón Quevedo. Con ello, se demuestra la viabilidad y validez del instrumento metodológico desarrollado, para revelar los principales problemas que presenta la cadena y planear e implementar las soluciones que deben ser adoptadas de forma pertinente en cada caso específico, con el fin de incrementar la efectividad y asegurar el cumplimiento de su misión (Alcocer- Quinteros, 2021).

## 3.1. Aplicación del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros en el Cantón Quevedo

### 3.1.1. Fase I. Planificar

#### Etapa 1. Conformación de los equipos de trabajo

Para la realización de esta etapa, se parte de la determinación y selección apropiada de la comunidad de expertos a emplear en el análisis de las dimensiones (Hurtado de Mendoza, 2010). Así, utilizando un método probabilístico y asumiendo una ley binomial de probabilidad, con un nivel de precisión del 4%, una proporción estimada de errores (promedio) del 2% y para un nivel de confianza del 95%, se obtuvo una necesidad total de 12 expertos.

Además, es necesario la conformación de un grupo de profesionales de parte del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Quevedo, los cuales entrarán como grupo de apoyo y aplicación del procedimiento a implementar.

El equipo de trabajo está conformado por los investigadores y un equipo de asesores especialistas en Investigación de operaciones, Informática y en Administración de cadenas de suministros, quienes interactúan de forma presencial y semipresencial en el desarrollo de la investigación, el diseño, aplicación y análisis del modelo matemático y en la toma de decisiones para la implementación de las mejoras correspondientes. La mayoría de estas personas son directivos del área al que pertenecen. Los datos de las personas seleccionadas, en cuanto a su especialidad de graduación, cargo y años de experiencia, se muestran a continuación:

- a. Ingeniero en Administración de Empresas, Director, 8 años;
- b. ingeniero en Sistemas, Jefe del sistema informático, 11 años;
- c. ingeniero Industrial, Jefe del departamento de operaciones, 11 años;
- d. ingeniero en contabilidad y auditoría, Jefe del departamento de contabilidad, 11 años;
- e. ingeniero en Administración financiera, Jefe del departamento de comercialización y ventas, 11 años; e
- f. ingeniero Mecánico, Jefe del Departamento técnico y mantenimiento, 11 años.

De esta forma, el equipo de trabajo quedó conformado por 18 personas (6 en el grupo de apoyo a la investigación y 12 expertos).

## **Etapas 2. Objetivos del procedimiento**

1. Conocer la situación actual de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos en el Cantón de Quevedo del Ecuador.
2. Analizar el comportamiento de los indicadores específico e integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos.
3. Aplicar el modelo decisional multicriterio con enfoque logístico para elevar la efectividad de la operación de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos en el Cantón Quevedo, a través de la modelación de la red logística de la mencionada cadena.

### 3.1.2. Fase II. Hacer

Esta fase incluye un conjunto de etapas con el fin de dar respuesta a los objetivos de la investigación establecidos, primordialmente, el objetivo general de la misma. Para lo cual, se realizó una simulación o prueba piloto antes de llevar a cabo algún cambio a la situación actual planteada mediante el uso de un software adecuado.

#### **Etapas 3. Análisis de la situación actual de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos en el Cantón Quevedo**

##### **Paso 3.1. Caracterización de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos**

###### **Actividad a. Definición de los procesos y requerimientos operacionales**

###### **Sitios de recolección (generación)**

Para esta investigación se seleccionó la localidad de Quevedo, la cual es una ciudad ecuatoriana cabecera del Cantón que lleva el mismo nombre, forma parte de la provincia de Los Ríos. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) del Ecuador, en el censo del 2010, su población fue de 173.575 habitantes. En cuanto a la recolección de residuos sólidos en esta ciudad, hasta agosto de 2018, la responsabilidad de llevar a cabo estas actividades era de la Empresa Pública Municipal de Aseo y Gestión Ambiental del Cantón de Quevedo (EPMAGAQ), pero debido a problemas financieros e insuficiencia de presupuesto, lo que repercutió en la disponibilidad de recursos operativos suficientes para las actividades de recolección de residuos sólidos urbanos, se decidió liquidarla y transferir la responsabilidad de la recolección de los residuos al Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal del Cantón de Quevedo (Municipalidad de Quevedo, 2018).

El modelo de recolección que se utiliza en el cantón de Quevedo es en masa, lo que implica que los residuos se recogen mezclados, no se realiza selección en el origen, ni tampoco una selección posterior, a pesar de que en algunos de los sitios públicos hay contenedores pequeños para separar los residuos sólidos en plástico, papel, cartón y orgánicos, pero al momento de hacer la recolección el

vehículo toma cada contenedor y vierte su contenido en la compactadora, mezclando los residuos sólidos.

En cuanto al sistema de recolección se usa el de contenedores, que se ubican en sitios específicos de la vía pública, estos son de grandes dimensiones con capacidad de 1050 kg cada uno. Son contenedores únicos, es decir, los residuos se colocan todos mezclados, y así los recoge el camión compactador. Existe un total de 250 contenedores dispuestos para que la población deposite los residuos sólidos urbanos. Los problemas asociados a este tipo de sistema son las quejas de los vecinos próximos a estos por la presencia de vectores sanitarios, malos olores, entre otros. En la tabla 5 se puede observar que el número total de generación de residuos sólidos per cápita para el cantón de Quevedo es de 2,89 kg/hab.-día.

**Tabla 5**

*Generación de residuos sólidos en el cantón de Quevedo*

Parroquia	Población (habitantes)	Residuos recolectados (kg/día)	PPC (kg/hab.-día)
La Esperanza (parroquia rural)	4.853	5.753	1,18
Quevedo (parroquias urbanas)	158.694	180.275	1,14
San Carlos (parroquia rural)	10.028	5.753	0,57
<b>Total</b>	<b>173.575</b>	<b>191.781</b>	<b>2,89</b>

**Nota:** Elaborado a partir de INEC (2013).

Según datos registrados por la Mancomunidad Mundo Verde, las coberturas de recolección en relación con los residuos generados y la relacionada con la cantidad de habitantes atendidos es la siguiente.

**Tabla 6**

*Cobertura de recolección*

Parroquia	Cobertura de recolección en relación con los residuos generados (%)	Cobertura de recolección en relación con la cantidad de habitantes atendidos (%)
La Esperanza	91,12	93,21
Quevedo	94,28	91,43
San Carlos	95,21	94,13

**Nota:** Elaborado a partir de la Mancomunidad Mundo Verde (2014-2016).

En cuanto al transporte se determinó que el cantón de Quevedo cuenta con 20 unidades compactadoras, las cuales tienen una capacidad de 12 toneladas de residuos sólidos cada uno, con sistema de carga posterior. Adicionalmente, se muestran las rutas que hacen dichas unidades, en éstas se hace la recolección de los residuos sólidos del cantón para luego ser trasladados al relleno sanitario, en este proceso, como se dijo en un punto anterior, los residuos sólidos se recolectan y transportan mezclados. Como se observa en la tabla 7 la mayoría de las rutas son en las parroquias urbanas de Quevedo ya que es la que tiene mayor cantidad de población.

**Tabla 7**

*Rutas de recolección y transporte de residuos sólidos urbanos en el cantón de Quevedo*

N°	Cantidad de recorridos	Rutas	Parroquia
1	4	Quevedo	Quevedo
2	3	Quevedo	Quevedo
3	1	San Carlos	San Carlos
4	3	Sector La Virginia, 17 de Marzo, Las Américas y Colinas de los Recuerdos	El Guayacán
5	3	San Camilo	San Camilo
6	3	San Cristóbal	San Cristóbal
7	3	7 de Octubre	7 de Octubre
8	1	Venus	Venus
9	3	Sector Variante y Vía al Empalme	El Guayacán
10	1	Nicolas Diaz	Nicolás Díaz
11	1	24 de Mayo	24 de Mayo
12	1	La Esperanza	La Esperanza
13	1	Los Chapulos	San Camilo
14	1	Gustavo Campi	San Camilo
15	1	Gustavo Campi	San Camilo
16	1	Sector La Baldramina	San Camilo
17	1	Sector Viva Alfaro	Viva Alfaro
18	1	El Guayacán	El Guayacán
19	1	Sector 20 de Febrero	Venus
20	1	Sector La Floresta	Quevedo

**Nota:** Elaborado a partir de la Mancomunidad Mundo Verde (2014-2016).

## Sitios de transferencia/separación

En el cantón de Quevedo hay un total de 20 camiones compactadores que son los que hacen las funciones de recolección de los residuos sólidos urbanos. La mayor cantidad de residuos sólidos que se genera son las parroquias urbanas de Quevedo ya que tiene una población mucho mayor y se hacen más recorridos para realizar estas tareas de recolección.

Existen dos sitios de separación ubicados en las afueras del Cantón, donde receiptan los residuos mezclados del sitio de generación para posteriormente ser separados en tres grandes grupos: los reciclables, orgánicos y finalmente los materiales que no pueden ser reutilizados.

Se identificó que en el desglose de residuos sólidos generados existe la proporción que se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Desglose por tipo de residuos*

Tipo de residuo		%
Orgánicos	62	
Papel y cartón	8	
Vidrio	2	
Plásticos	9	
Chatarra	3	
Residuos sólidos no recuperables	16	
<b>Total</b>		<b>100</b>

**Nota:** Elaborado a partir de la Mancomunidad Mundo Verde (2014-2016).

## Sitio de tratamiento

Corresponde a los dos centros de acopio que cuenta el cantón Quevedo, en el cual se recolectan materiales relacionados con papel y cartón, vidrio, plástico y chatarra, los cuales son destinados a los diferentes clientes que compran dicho material.

## Sitio de compostaje

Cuenta con tres centros de acopio, puesto que el 62% de los residuos recolectados son de origen orgánico, los que serán enviados a los diferentes

clientes de acuerdo con su necesidad, para fines agrícolas o en la utilización para la generación de energías alternativas.

### Sitio de disposición final (relleno sanitario)

Según el Proyecto de la Mancomunidad Mundo Verde (2014-2016) en el cantón de Quevedo está ubicado el relleno sanitario general, que tiene una capacidad de 1.125 toneladas por día y en donde se hace la disposición final de los residuos sólidos de 320 toneladas por día que se recolectan en esta mancomunidad.

### Actividad b. Determinación de los aspectos económicos de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos

Se deben caracterizar los procesos involucrados en la gestión integral de los residuos sólidos del cantón de Quevedo de acuerdo con su desempeño económico, categorizando en costos fijos y variables de los procesos de recolección, así como transporte, tratamiento y disposición final (Alcocer, Cevallos, & Knudsen, 2019). Estos costos son estimados de forma anual y se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Costos asociados a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos*

Descripción	Cantidad	Unidades de medición
Cantidades de residuos recolectados	70'000.000	(kg/año)
Cantidades de residuos tratados	58'800.000	(kg/año)
Cantidad de residuos dispuestos finalmente	11'200.000	(kg/año)
Distancias	222.285	Km
Costo transporte unitario promedio	3	\$/km
Costos fijos de residuos tratados	225.870	\$/año
Costos variables de residuos tratados	323	\$/kg
Costos fijos de residuos dispuestos finalmente	237.500	\$/año
Costos variables de residuos dispuestos finalmente	148	\$/kg
Costos fijos de recolección	265.300	\$/año
Costos variables de recolección	10	\$/kg
Costo total anual de operaciones del proceso	22.745.525	\$/año
Gastos por compras de materiales	535.800	\$/año
Ingresos totales	26.460.000	\$/año
Ganancia	3.178.675	\$/año

**Nota:** Elaborado a partir de datos del Proyecto Mancomunidad Mundo Verde (2014-2016).

## Actividad c. Determinación de los aspectos ambientales de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos

### Caracterización física

#### Topografía

El cantón de Quevedo está localizado en la región costa del Ecuador, es un extenso valle aluvial, rodeado por cordilleras, su relieve es plano, es decir, presenta una extensa llanura, atravesada por el río Quevedo, a una altitud de 74 msnm.

#### Hidrografía

El cantón de Quevedo está atravesado por el río Quevedo el cual tiene una longitud de 365,81 km., que es uno de los afluentes del río Guayas, el cual desemboca en el océano Pacífico y en su gran mayoría es navegable, esto conecta al cantón con otras ciudades generando un gran flujo comercial. El río Quevedo forma parte de un importante sistema fluvial que nace el suroeste de la provincia de Pichincha. Cuando se adentra en la provincia de Los Ríos corre de norte a sur y pasa junto a las poblaciones de Quevedo, Palenque y Vinces, de las cuales toma sus nombres a su paso, finalmente con el nombre de Junquillo desemboca en el río Babahoyo, en la provincia del Guayas.

#### Geología

Como resultado del cambio brusco de pendiente del cauce de los ríos al salir de la cordillera se produce un depósito gradual de los sedimentos desde los más gruesos en el piedemonte y los finos en la llanura costera, la estratigrafía de estos depósitos se revela muy compleja ya que los sedimentos se depositaron también en un medio fluvial estuarino. Así mismo, en la zona existen terrazas indiferenciadas, estas se depositaron durante el plioceno, son capas de conglomerado, que se ubican subyacentes a arcillas laminadas color café, presentan areniscas de grano fino a medio (Albán, 2014).

#### Caracterización climática

Es una zona climática lluviosa subtropical, su temperatura habitual es de unos 20 a 33 °C y a veces llega a los 38 °C. Las lluvias nacen mayoritariamente al

este de la ciudad. Quevedo tiene precipitaciones en todos los meses del año y oscila entre 3.000 a 4.000 mm. al año.

## Caracterización biológica

### Flora

La mayor parte de las formaciones vegetales de la zona fueron devastadas por la creciente expansión de las actividades del cantón, por tal motivo se considera a este ecosistema como el de mayor transformación y degradación en comparación con los demás sistemas naturales del Ecuador (Sierra, 1999). Entre las especies florísticas que se encuentran en el cantón se pueden mencionar las reflejadas en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Especies florísticas de Cantón Quevedo*

No.	Familia	Nombre científico	Nombre común
1	Arecaceae	Iriartea deltoidea	Pambil
2		Elaeis guineensis	Palma africana
3	Bignoniaceae	Tecoma casranifolia	Muyuyo
4	Convolvulaceae	Ipomoea sp	Camote
5	Fabaceae	Mimosa pigra	Dormidera
6	Lamiaceae	Tectona grandes	Teca
7	Malvaceae	Teobroma cacao	Cacao
8	Muntingiaceae	Muntingia calabura	Niguito
9	Musaceae	Musa x paradisiaca	Banano
10	Poaceae	Guadua angustifolia	Guadua
11		Panicum maximun	Pasto
12		Urticaceae	Cecropia garciae

**Nota:** Meza (2018)

Es necesario acotar que ninguna de las especies está categorizada en los listados rojos (2018), apéndices Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (2018) y Libro Rojo de plantas Endémicas del Ecuador (2015).

### Fauna

La fauna que se registra en el cantón de Quevedo se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Especies de fauna en el cantón Quevedo*

No.	Ordenes	Familias	Nombre científico	Nombre común
1	Carnívora	Felidae	Leopardus pardalis	Tigrillo
2			Glossophaga soricina	Murciélago frutero
3	Chiroptera	Phyllostomidae	Carollia castanea	Murciélago frutero
4			Desmodus rotundus	Vampiro común
5	Cingutala	Dasypodidae	Dasyus novemcinctus	Armadillo
6	Didelphimorphia	Didelphidae	Didelphis marsupialis	Zorra grande
7		Cuniculidae	Cuniculus paca	Guanta
8		Dasyproctidae	Dasyprocta punctata	Guatusa
9	Rodentia		Microsciurus mimulus	Ardilla chica
10		Sciuridae	Sciurus granatensis	Ardilla chica

**Nota:** Meza (2018)

De las especies registradas en el cantón de Quevedo, el tigrillo está clasificada como casi amenazada según el libro rojo de mamíferos del Ecuador (2011), así como también la guanta y la ardilla chica (*microsciurus mimulus*).

### Zonas sensibles

El cantón Quevedo se encuentra en la zona de Bosque Húmedo Tropical, de propiedad del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en la estación experimental Pichilingue, con una extensión de 40 ha, a una altitud de 73 msnm, con una precipitación de 2178 mm, humedad relativa de 84%, temperatura promedio de 24 grados centígrados, brillo solar de 75,7 h/mes, de topografía irregular, pH de 6,57. En este bosque se encuentran 49 especies forestales, siendo las familias más representativas las moraceae, lauraceae y mimosaceae (Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Quevedo, 2014).

En el Anexo 3 se muestra la matriz de Leopold con la respectiva evaluación del impacto ambiental, en esta se puede apreciar los factores asociados con las acciones que conforman el proceso de gestión integral de residuos sólidos urbanos del cantón de Quevedo; las calificaciones observadas para cada factor con respecto a magnitud e importancia, fueron asignadas según un análisis realizado al proceso de gestión, con apoyo de la caracterización de los

elementos físicos, climáticos, biológicos y zonas especiales que se hizo previo a la evaluación del impacto ambiental.

Según la matriz se pueden observar impactos negativos e impactos positivos. Ordenados de mayor a menor según el puntaje obtenido: movimientos de aire (-36), impactos a la flora tales como árboles, arbustos, hierbas y microflora (-29), así como compactación y asiento (-26) e impacto a animales terrestres incluyendo reptiles (-24). En cuanto a los positivos se pueden mencionar los siguientes: la generación de empleo (35), los beneficios a la red de servicios (21), la mejora de los estados de vida (18) y los beneficios a la salud y la seguridad (17).

En cuanto a la importancia, se tiene como los más relevantes: paisaje y naturaleza (38), movimientos del aire (37), calidad de la atmósfera (36), estados de vida (36), seguridad y salud (36), empleo (36), insectos portadores de enfermedades (36), cadenas alimentarias (36), temperatura de la atmósfera (35), suelos (34), fauna (insectos) (33), flora (árboles, arbustos, hierbas y microflora) (32), y animales terrestres incluyendo reptiles (30).

#### **Actividad d. Determinación de la satisfacción al cliente de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos**

En cuanto a la satisfacción de los clientes, se definió una lista de elementos a considerar para medir este aspecto, estos se obtuvieron de la encuesta que aplica la empresa de aseo urbano del cantón para tal fin, se muestran 10 elementos que van desde la satisfacción con la calidad del servicio de recolección, el cumplimiento y frecuencia de rutas que se realizan para la recolección, la conservación por el paisaje, el trato del personal hacia la población o clientes, el costo del servicio, las técnicas que aplican para el control de malos olores y restos de residuos y lixiviado en la vía pública, incluyendo el grado de preocupación que muestra la empresa por la conservación de las unidades compactadoras y los contenedores de residuos sólidos. De acuerdo con la ecuación 8 presentada en el capítulo II, el nivel de satisfacción es de 43 de los 50 puntos que se tiene como máximo, considerada como muy buena.

Es así como a través de un análisis de los datos de la encuesta realizada por la empresa, se obtuvo la importancia ponderada de cada factor que se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Importancia ponderada de los factores de satisfacción del cliente*

F	Calidad del servicio	Frecuencia de las rutas de recolección	Cumplimiento de las rutas de recolección	Cantidad de residuos sólidos recolectados	Trato del personal
IP	13,31	14,67	15,29	15,15	6,55
F	Correspondencia entre valor del servicio y calidad de este	Control de malos olores	Control de derrame de lixiviado y restos de residuos sólidos en la vía pública	Preocupación por la conservación de las unidades compactadoras y contenedores	Preocupación por la conservación del paisaje
IP	10,66	10,10	6,72	3,90	3,03

**Nota:** Autor (2024)

Según los resultados obtenidos, la mayoría de los atributos de satisfacción del cliente se cumplen de manera satisfactoria, aunque no completamente, ya que en una escala del 1 al 5, en donde 5 es cuando se cumple en su totalidad, para los factores calidad del servicio, frecuencia de las rutas de recolección, cumplimiento de las rutas de recolección, cantidad de residuos sólidos recolectados, trato del personal, correspondencia del valor del servicio y la calidad de este, preocupación por la conservación de las unidades compactadoras y contenedores y preocupación por conservación del paisaje obtuvieron un valor de 4 cada uno. Mientras que control de malos olores, así como control de derrame de lixiviado y restos de residuos sólidos en la vía pública, recibieron un valor de 3, lo que significa que el grado de satisfacción con el cumplimiento de estos dos parámetros es medio.

### **Paso 3.2. Determinación del entorno y su Influencia**

Para el análisis del entorno y su influencia en la cadena se realizó una matriz FODA, siguiendo la metodología propuesta por Pérez (2005). En el Anexo 5

aparece dicha matriz donde se concluye que es necesario seguir una estrategia ofensiva puesto que prevalecen las fortalezas y oportunidades, por lo que se recomendó maximizar las primeras aprovechando las oportunidades, minimizando las amenazas y debilidades principales.

La cadena objeto de estudio tiene como meta próxima la eliminación del relleno sanitario, mediante el reciclaje de la mayor cantidad posible de material a ser reutilizado. Las limitaciones determinadas por la carencia de cultura ambiental por parte de los ciudadanos (debilidades) y la inexistencia de regulación de precios en el mercado de productos reciclables (amenazas), colocan una seria advertencia para lograrlo. Por otra parte, los riesgos (combinación de fortalezas y amenazas) y desafíos (combinación de debilidades y oportunidades) determinados por su correspondiente combinación de factores, exigen una cuidadosa consideración para marcar el rumbo hacia el futuro deseable, si se tiene en cuenta que la modernización del equipamiento viene acompañada de una fuerte inversión, cual financieramente no es posible, en las condiciones económicas del país, así como también sus políticas económicas.

### **Paso 3.3. Definir los flujos actuales de la cadena de suministros**

El flujo material comienza con el transporte en los sitios de generación, que actualmente en la ciudad de Quevedo son veinte y son trasladados hasta los tres sitios de separación. En este lugar, los residuos son clasificados en tres grandes grupos.

El primer grupo corresponde a los materiales formados por papel, cartón, plásticos, vidrio y chatarra, los que serán enviados a los sitios denominados de tratamiento.

El segundo grupo está conformado por los materiales orgánicos, los que serán enviados al centro de compostaje.

El tercer grupo está formado por materiales que no pueden ser recuperados, los que finalmente se enviarán al relleno sanitario.

En los sitios de tratamiento, que son dos, los materiales ya separados y clasificados, son almacenados hasta ser vendidos a los diferentes clientes según su necesidad.

De la misma forma funciona con los sitios de compostaje que actualmente son tres en la ciudad.

El flujo informativo comienza con la solicitud de compra de los diferentes productos al departamento de ventas y compra por parte de los clientes. Este a su vez, realiza la solicitud a los diferentes sitios, la cual es analizada con los departamentos de economía y contabilidad. Luego se hace la solicitud de compra de los productos. Una vez realizada estas solicitudes, los diferentes sitios informan al departamento de contabilidad, sobre la cantidad de productos solicitada y fecha de entrega de esta. El producto que está determinado para la compra se transporta por los diferentes camiones que son propiedad de los compradores, donde se le informa al departamento de compras y ventas que la solicitud está completa y este, al de economía y contabilidad. Al final de cada día, los diferentes centros (de tratamiento y compostaje) entrega un reporte al departamento de contabilidad donde se detalla el material consumido en la jornada. Este volumen de materiales consumido debe coincidir con el reporte diario que realiza el centro de separación.

Para el flujo financiero, el cliente firma el vale de los productos comprados, pasando a realizar el pago de estos bienes por el departamento de ventas, donde se le firma la factura comercial. En el anexo 9 se resume los tres flujos.

### **Paso 3.4. Identificar y analizar los problemas que afectan la cadena de suministros**

En este paso se comienza por la identificación y el análisis de los problemas que afectan la gestión de cada eslabón y del sistema. Después de concluido el análisis de las encuestas (Anexos 4 y 6), se determinó que los problemas que afectan la gestión integral de los residuos sólidos urbanos son los que se relacionan a continuación:

- a. Alto consumo de combustible.
- b. Costos de operación muy elevados.
- c. Deterioro de los vehículos de transportación que provocan derrames.
- d. Elevados costos de mantenimiento de los vehículos de transportación.
- e. Demora en los procesos de embarque de los residuos.

- f. Deficiente planificación de mantenimiento de los vehículos utilizados en la transportación.
- g. Trámites de papeleo muy engorrosos por parte de administración.
- h. Alto consumo de combustible por parte de los vehículos de transportación de los RSU.
- i. Insuficiente cantidad de productos que llegan a los clientes finales.
- j. Demora en la entrega del producto al cliente final.
- k. Gran cantidad de productos no reciclados que llegan al relleno sanitario.
- l. El personal no es capacitado frecuentemente en las técnicas de manipulación de los RSU.
- m. Falta de medios de transportación.
- n. Proceso de la cadena muy lento.
- o. Los medios disponibles no son los suficientes para cubrir las necesidades.

Los problemas detectados son validados y agrupados, tomando en consideración la complejidad y características del trabajo a realizar, se decidió agrupar los problemas generales que provocan la deficiente gestión de la cadena en los siete que se resumen seguidamente:

1. Alto consumo de combustible.
2. Demora en la entrega del producto al cliente final.
3. Deterioro de los camiones que provocan demarres.
4. Elevados costos de mantenimiento de los vehículos.
5. Poca cantidad de producto que llega a los clientes finales.
6. Costos de operación elevados.
7. Grandes cantidades de productos sin reciclar que llegan al relleno sanitario.

Para corroborar estadísticamente la concordancia en su juicio, se le pidió al grupo de expertos que evaluara independientemente en una escala del 1-10 en función de su importancia para el desempeño de la organización (10 máxima importancia).

Se determinaron los valores de tendencia central y todos resultaron ser superiores a cinco, lo que significa que las causas seleccionadas tienen al menos una importancia media en la explicación del bajo desempeño económico y

ecológico de la cadena de suministros. Por esto se decidió no desestimar ninguno para la conformación del resto de los análisis. Se determinó además el coeficiente de concordancia  $W$  de Kendall, que dio como resultado un valor alto de 0.824, lo que permitió concluir que el grupo tiene concordancia en su valoración respecto a la importancia de las causas que provocan el bajo desempeño de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos. Después de aplicar el método de expertos y comprobar que hubo concordancia entre los mismos, los problemas quedaron ordenados de la forma siguiente:

1. Alto consumo de combustible.
2. Costos de operación elevados.
3. Elevados costos de mantenimiento de los vehículos.
4. Deterioro de los camiones que provocan demarres.
5. Demora en la entrega del producto al cliente final.
6. Poca cantidad de producto que llega a los clientes finales.
7. Grandes cantidades de productos sin reciclar que llegan al relleno sanitario.

### **Paso 3.5. Determinación de los indicadores específicos e integral de la cadena de suministros**

Para determinar los indicadores específicos y el integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos del cantón Quevedo, es necesario aplicar el procedimiento específico presentado en el capítulo II, que está formado por tres actividades.

#### **Actividad a. Definición de los criterios**

Como se había planteado en el capítulo anterior, los criterios se agrupan en tres grandes categorías:

Razón costo/beneficio: la forma en que se organice y gestione la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos incide en los costos de operación y transportación y por ende en los resultados que de su funcionamiento se puedan producir. Es por esto por lo que la alternativa a seleccionar debe ser aquella de menor costo total, generando la mayor cantidad de residuos reciclables que se

puedan vender, con el menor uso de los vehículos de transportación (menores distancias recorridas) y generando el mínimo de residuos no recuperables.

Reducción de la contaminación del entorno y aumentar los beneficios del entorno: está relacionado con:

- a. Aumento de la cantidad posible de residuos sólidos urbanos que se generan en el Cantón Quevedo.
- b. Disminución de vehículos de transportación que provocan contaminación ambiental.
- c. Aumento de material reciclable para su comercialización.
- d. Disminución de material no reciclable que se desecha en el relleno sanitario.

Incremento en la cantidad de productos clasificados y de los beneficios sociales: los productos reciclables, tanto papel, cartón, plástico, vidrio, chatarra y material orgánico, constituye una fuente de empleo para los habitantes del sector, los cuales, a través de un proceso ordenado y sistematizado, comprará el mencionado producto como materia prima, para su posterior comercialización a las fábricas del sector.

**Actividad b. Determinación de la importancia relativa (peso) de los criterios**

Para el cálculo del peso cada uno de los criterios se utilizó el método AHP de Saaty, siendo los resultados los siguientes:

- |   |      |
|---|------|
| 1. Minimizar costos de operación y transporte   | 0,31 |
| 2. Minimizar cantidad de residuos no reciclados | 0,30 |
| 3. Maximizar cantidad de productos              | 0,19 |
| 4. Maximizar beneficios ambientales             | 0,20 |

**Actividad c. Determinación del indicador NDICS**

En la tabla 13 se muestra los factores a maximizar con sus respectivos valores reales y el valor plan de acuerdo con el POA de la empresa tomado del año 2016.

**Tabla 13**

*Factores a maximizar*

Factor	Indicador	Valor plan	Valor real
Generación	Cantidades recolectadas (Kg/año)	80'000.000	70'000.000
Tratamiento	Cantidades tratadas (Kg/año)	70'000.000	58'800.000
Cadena de suministros	Satisfacción al cliente (Kg)	80'000.000	70'000.000
Cadena de suministros	Ahorro del impacto ambiental (puntos)	15	0,4

**Nota:** Autor (2024)

En la tabla 14 se muestra los factores a minimizar con sus respectivos valores real y el valor plan de acuerdo con el POA de la empresa tomado del año 2016.

**Tabla 14**

*Factores a minimizar*

Factor	Indicador	Valor plan	Valor real
Costos de operación y transporte de la cadena	Costo de operaciones (dólares)	1'000.000	22'745.525
Relleno sanitario	Cantidades dispuestas finalmente (Kg/año)	7'000.000	11'200.000

**Nota:** Autor (2024)

Aplicando las fórmulas definidas en el capítulo II para determinar el NDICS, su valor obtenido es de 0,65 el cual indica que el nivel de desempeño integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos no es el adecuado.

**Etapa 4. Obtención y aplicación del modelo matemático multicriterio**

Con la información obtenida, se procede a obtener el modelo matemático, que servirá como herramienta para la toma de decisiones en la optimización de los recursos. Se llevó a cabo siguiendo los pasos estándares conocidos, pero tomando en cuenta la realidad existencial de la cadena de suministros del Cantón Quevedo. En primer lugar, se detectó la problemática de la cadena en cuanto a las debilidades y limitaciones que disminuyen la efectividad de la gestión de los residuos sólidos urbanos, las demoras o incumplimientos en el transporte de los mismos, las variaciones o retrasos en el tratamiento de los residuos, y los aspectos como riesgo económico, impacto ambiental y satisfacción al cliente. Seguidamente, se toman en cuenta las características estructurales de la misma,

los elementos o eslabones que la conforman y las relaciones asociadas con la transferencia de materiales e información.

Seguidamente, se presentan los criterios para la maximización o minimización para lograr la optimización de cada función, con la que los investigadores conciben las condiciones y restricciones del modelo.

#### **Paso 4.1. Determinación de los elementos componentes del modelo matemático multicriterio**

Para el modelado del proceso de gestión integral de residuos sólidos urbanos en el cantón de Quevedo, también se buscó información sobre las cantidades recolectadas de los sitios de separación de residuos sólidos existentes, de los centros de tratamiento, sobre la disposición final, de las plantas de compostaje, los medios que utilizan para transportar los residuos sólidos, así como de los clientes que posee esta red de suministro. Se hizo uso del programa GAMS para ordenar la información obtenida en matrices que luego sirvieron para la optimización del proceso. La red que se modeló dispone de 20 fuentes generadoras de residuos sólidos urbanos, las cuales se corresponden a las localidades en donde están ubicados los contenedores en donde la población debe depositar los residuos para luego ser recolectados.

En cuanto a los centros de tratamiento, llegan los residuos de plástico, papel y cartón para ser procesados y luego ser vendidos a clientes que los utilizan como materia prima para sus procesos. Se consideraron 14 clientes para los productos de la planta de tratamiento, estos representan 10 clientes actuales que tiene el centro y cuatro clientes nuevos que se lograron identificar como interesados en participar.

Si los residuos sólidos se corresponden con material orgánico, entonces son trasladados al centro de compostaje, y se incluyeron 14 clientes para este centro, esta cantidad fue estimada considerando ocho actuales según los registros del centro y seis nuevos que se lograron identificar. Si los residuos sólidos no son recuperables, o forman parte de los tipos que aún no pueden ser tratados en la red entonces estos son trasladados al relleno sanitario que es la disposición final, se consideró un solo sitio para la disposición final, el cual es el que reúne las condiciones necesarias para ser utilizado como tal. Se dispone de medios de

transporte, que se corresponden a camiones compactadores y para el traslado de los residuos sólidos urbanos entre cada eslabón de la red con capacidades de 12 toneladas.

Para la aplicación del modelo se consideran los supuestos que se definieron en el capítulo 2, se asume que todos los sitios de separación que se proponen son iguales y que los clientes nuevos identificados se incorporaran a la red estudiada en igualdad de condiciones que los que existen actualmente. Para la estimación de los parámetros del modelo se acudió a la revisión de los datos históricos disponibles en las instalaciones que actualmente existen en el cantón de Quevedo y que tiene registrados la empresa municipal de aseo. Todos los datos de costos, distancias entre los eslabones de la red, cantidades recolectadas y transportadas, y demás parámetros considerados para el modelo matemático se muestran en el Anexo 10.

Una vez que se definieron las cantidades máximas de elementos de cada uno de los nueve conjuntos que contempla el modelo matemático y se elaboraron las matrices de datos necesarios para la aplicación del modelo, se procedió a introducir en el programa GAMS toda la información recolectada, se declararon las variables, se definieron los conjuntos, se introdujeron los parámetros, así como las matrices de datos. Finalmente se agregaron las cuatro funciones objetivo y las 26 restricciones, utilizando el criterio de la frontera de Pareto de forma tal que se considera como función objetivo principal la de minimización de costo, considerando los costos de operación y los de transporte, agregando las funciones del uso de los camiones con la distancia recorrida y la función ambiental, que contempla los impactos tanto positivos como negativos.

El motivo por el cual se decidió plantear la función de costo como la principal es que esta contiene todas las variables de decisión del modelo, que, en la función de ahorro de impacto ambiental, también se incluyen, pero esta es más compleja y por su forma no lineal se complica el proceso de optimización, mientras que en la de satisfacción del cliente solo están presentes las variables de decisión que corresponden a las cantidades que fluyen por la red. Por lo tanto, al optimizar la ecuación principal se optimizan de una vez las otras tres funciones del modelo ya que las tres trabajan de forma integrada a través de las variables de decisión

que incluye cada una, las cuales son: las cantidades recolectadas, trasladadas, vendidas y dispuestas finalmente, así como las cantidades de viajes que involucra la red.

Para la optimización se llevó a cabo un proceso que involucró un bloque de 23 ecuaciones, 19 parámetros, 13 variables de decisión, en 214 líneas y utilizando el método de solución de MINLP (minimización en programación lineal) del GAMS, se realizaron 81 iteraciones, el tiempo total invertido para el proceso de preparación de los datos en el programa, pruebas de las ecuaciones, más las iteraciones realizadas fue de cinco días de trabajo. El software utiliza un procedimiento heurístico para el proceso de iteración, este consiste en ir probando un conjunto de datos en cada una de las funciones objetivo y restricciones arrojando escenarios de optimización diferentes. Los resultados de la optimización generaron 81 escenarios posibles, que se corresponden a las iteraciones realizadas. En la tabla 15 se indican los resultados más relevantes de la optimización, es decir, aquellos que arrojaron los mejores resultados.

**Tabla 15**

*Resultados de la optimización por escenario*

Escenarios	Costo de operaciones (dólares)	Ahorro por uso de camiones y distancias recorridas (km)	Beneficio por la función social (Kg)	Ahorro del impacto ambiental (puntos)	Probabilidad
1	1 022 400	543,40	52.156	11,483	0,075
2	1 022 100	523,70	61.543	11,512	0,078
3	1 032 100	559,40	60.127	11,901	0,085
4	1 032 300	516,35	65.194	12,903	0,078
5	1 013 400	504,00	65.124	13,045	0,120
6	1 032 800	421,70	65.391	12,935	0,076
7	1 003 500	489,45	79.273	13,789	0,179
8	1 039 800	482,55	53.987	11,221	0,077
9	1 036 800	495,66	55.345	11,235	0,075
10	1 028 700	432,15	56.368	11,491	0,086

**Nota:** A partir de los resultados de GAMS. Autor (2024)

## Paso 4.2. Verificación y validación del modelo matemático

Al valorar los resultados obtenidos en esta investigación y considerando los indicadores mostrados en la tabla 15, los cuales responden a los diez escenarios que aportan las mejores soluciones, queda evidenciado que el modelo matemático es idóneo a utilizar en la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos. Esto se fundamenta ya que este modelo permite considerar las interacciones y dependencias entre los procesos logísticos al evaluar de forma integral en desempeño.

Por otro lado, se hace necesario aplicar una herramienta que permita validar la factibilidad de aplicación del modelo matemático abordado Pereira (2008). En este sentido, es posible utilizar el criterio de expertos como método cualitativo, basado en la experiencia y conocimiento de un grupo de sujetos considerados expertos en el tema a tratar.

Se trata de un proceso sistemático, formal y profundo para obtener y probar el modelo matemático en cuestión Hurtado de Mendoza (2010). También permite comprobar la calidad y efectividad de los resultados de la investigación, tanto en su concepción teórica como en su factibilidad Lissabet (1998). En esta investigación se emplea el procedimiento propuesto por Vinajera-Zamora (2017).

### *Paso 1. Formulación del objetivo*

En el presente paso se desea validar a través del método de expertos la concepción metodológica y la viabilidad del modelo matemático para su aplicación en la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos del Cantón Quevedo de Ecuador.

### *Paso 2. Selección de expertos*

El equipo de trabajo está conformado por 18 personas (6 en el grupo de apoyo a la investigación y 12 expertos), que se conformó en la etapa 2 de la fase de planificación.

### *Paso 3. Diseño del instrumento de recolección de datos*

El instrumento de recolección de datos se confeccionó, de forma tal que contiene preguntas sobre los tópicos abordados en el modelo matemático, donde los

expertos deban evaluarlos según su concepción teórica, factibilidad de aplicación y previsión de resultados. Para la elaboración de éste se tomó en cuenta las recomendaciones de Hernández (2010), se muestra en el Anexo 11.

Fue entregado a cada uno de los expertos junto con el material escrito a evaluar y sus instrucciones. Una vez obtenida toda la información, fue procesada a través del software MS Excel 2017. Por otra parte, se solicitó también a los expertos que analizaran y evaluaran la concepción metodológica de las diversas etapas, los procedimientos específicos y pasos que los componen, los que se consideraron adecuados, con medias que varían entre 4,09 y 4,82. Los resultados anteriormente expuestos contribuyen a validar el modelo matemático que consideran, en general, bien concebidos. En relación con la factibilidad de aplicación, las preguntas realizadas presentan cierta dispersión entre las opiniones de los expertos (desviación típica entre 0,62 y 0,75). Sin embargo, este tipo de análisis prospectivo es un ejercicio complicado y difícil, con un alto grado de incertidumbre, por lo que la diferencia de opiniones entre expertos se considera aceptable. Los expertos han evaluado el modelo matemático considerando los valores medios respecto a una escala de 5 puntos.

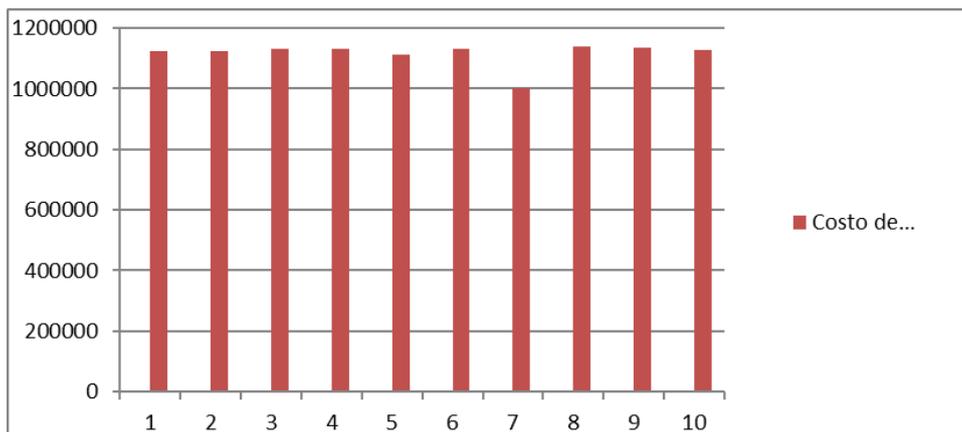
De lo expuesto, se desprende que el grupo de expertos seleccionados por su formación académica y científica, su experiencia laboral y profesional y sus conocimientos sobre el objeto de estudio teórico y práctico, consideran que el modelo matemático propuesto, presenta una estructura y concepción metodológica adecuadas para los fines con los que fueron concebidos.

#### **Paso 4.3. Aplicación e interpretación de los resultados**

En la figura 10 se muestra la comparación de los costos para cada uno de los 10 escenarios que se formularon, en esta se observa que el escenario 7 presenta el mejor desempeño ya que posee el mínimo costo, siendo bastante notable la diferencia en comparación con el resto de los escenarios planteados.

**Figura 10**

*Costo de operación anual*



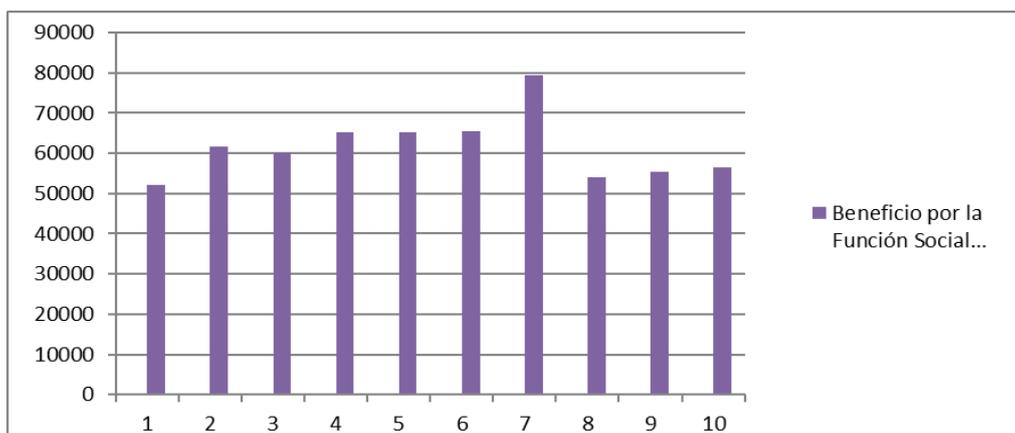
**Nota:** Autor (2024)

Se puede observar en la figura que en el escenario 7, se da la mejor opción en cuanto al ahorro en los costos operacionales. La diferencia entre el escenario 7 y los demás es significativa con respecto a los costos y se visualiza que este es favorecido por la optimización.

En cuanto al ahorro por el uso de camiones y distancias recorridas, el escenario 7 no sigue esta tendencia, debido a que no genera el menor valor entre los diez primeros planteados por los resultados, pero en cuanto al beneficio por la función social en toneladas, sí. La figura 11, permite la observación visual de este aspecto detectado.

**Figura 11**

*Beneficio social anual*

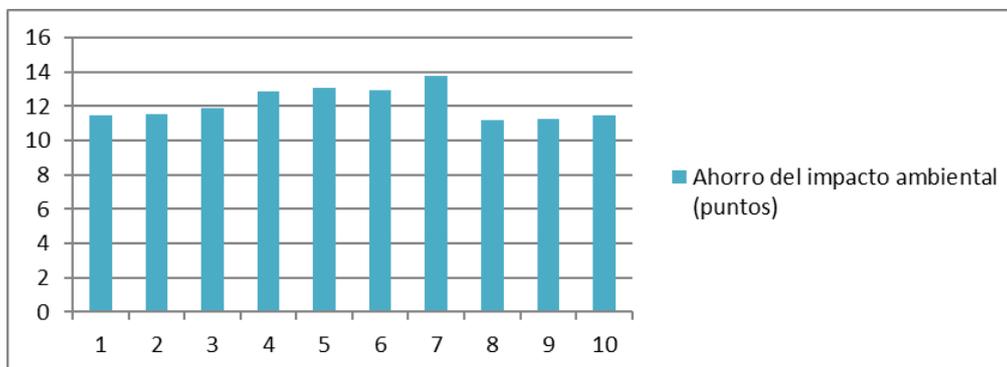


**Nota:** Autor (2024)

De igual manera, el ahorro por el impacto ambiental está por encima de los 13,7 puntos, indicando así que el escenario 7 es el que genera la mejor opción de la optimización, tal como se puede observar en la figura 12.

**Figura 12**

*Ahorro por el impacto ambiental*



**Nota:** Autor (2024)

La intención de los aspectos de la optimización es evaluar las condiciones de los escenarios generados e identificar aquel que ofrezca una combinación más ajustada a las funciones objetivos planteadas, para así definir los indicadores que se utilizaron para medir la gestión integral de residuos sólidos urbanos en el cantón de Quevedo, y se puede observar que esta característica la cumple el escenario 7, que es el que ofrece una combinación de costo menor, mayor ahorro en impacto ambiental y el mayor beneficio por la función social que conduce al logro de uno de los aspectos de la satisfacción al cliente, adicionalmente es el escenario que tiene la mayor probabilidad de ocurrencia según los resultados obtenidos. Por lo tanto, la combinación óptima de las variables de decisión que hace que se obtengan estos valores optimizados es la mostrada en la tabla 16.

**Tabla 16**

*Valores de las variables de decisión para el escenario con mejor desempeño*

Esce nario	Cantidade s trasladada s a cada sitio de recolecti on (Kg.)	Cantidade s trasladada s al centro de tratamient o (Kg.)	Cantidade s trasladada s al centro de compostaj e (Kg.)	Cantidad es trasladad as al relleno sanitario (Kg.)	Cantidades vendidas a los clientes del centro de tratamiento (Kg)	Cantidades vendidas a los clientes del centro de compostaje (Kg)
7	75'124.000	24'929.000	40'673.000	9'522.000	24'929.000	40'673.000

**Nota:** A partir de los resultados de GAMS. Autor (2024)

Estos valores de cantidades que fluyen por la red de la cadena de suministros de residuos sólidos urbanos. En la tabla 17 se hace una comparación entre los valores actuales con los calculados

**Tabla 17**

*Comparación de situación actual con la solución óptima*

Indicadores	Cadena de suministro actual	Cadena de suministro óptima	Porcentaje de mejoría (%)
Costo de operaciones (dólares)	22.745.525	1.035.000	95,54
Ahorro del impacto ambiental (puntos)	0,40	13,789	3.437.250
Beneficio por la función social (toneladas)	70.000	79.273	13,24

**Nota:** Autor (2024)

Se puede observar una mejoría de los parámetros estudiados, siendo el ahorro en impacto ambiental el cambio más notable, el cual tuvo un incremento de 3.437,250%, así mismo la disminución de costos en un 95,54% y un aumento en el beneficio de la función social de un 13,24%. Si se desglosa la satisfacción al cliente también se puede ver la mejoría en cada uno de sus componentes, esto se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18**

*Comparación de las cantidades que fluyen por el sistema entre la situación actual y la solución óptima*

Indicadores	Cadena de suministro actual	Cadena de suministro óptima	Cantidades mejoradas
Cantidades recolectadas (Kg/año)	70'000.000	79'273.000	9'273.000
Cantidades tratadas (Kg/año)	58'800.000	65'602.000	6'802.000
Cantidades dispuestas finalmente (Kg/año)	11'200.000	9'522.000	1'678.000

**Nota:** Autor (2024)

Como se ve en la tabla 18, con el modelo optimizado se maximizan las cantidades recolectadas en un 13,24%, también se logra maximizar los residuos sólidos urbanos tratados en un 11,57%, mientras que los residuos sólidos urbanos que se disponen finalmente se minimizan en un 30,99%. Por lo tanto, el escenario 7 de la optimización se corresponde con una cadena de suministro óptima que generaría el máximo beneficio y el menor costo posible para la gestión integral de la misma, en el Cantón Quevedo. Se comprueba entonces que el modelo matemático diseñado para describir matemáticamente la cadena de gestión integral de residuos sólidos urbanos en el cantón de Quevedo sirve para explicar su comportamiento y para obtener una mejor configuración de la red que permita minimizar los costos de operación, maximizar la satisfacción al cliente y el ahorro en impacto ambiental.

En cuanto a las variables de decisión relacionadas con las cantidades de viaje que se realizan para transportar los residuos sólidos urbanos, se mencionó antes que actualmente se dispone de algunas unidades de capacidad de 12 toneladas y en algunos casos estos deben hacer hasta 3 y 4 viajes. De acuerdo con la optimización planteada, se agregan dos tipos de medios de transportes adicionales que corresponden a camiones de 15 y 20 toneladas, los cuales permiten transportar mayor cantidad de residuos sólidos debido a su mayor capacidad y con el agregado de dos sitios de separación adicionales, que están ubicados a una distancia adecuada, se logra disminuir la cantidad de viajes, es por esto que el ahorro en el impacto ambiental es mayor ya que los impactos negativos disminuyen, aumenta la cantidad de residuos sólidos urbanos recolectados, así como las cantidades de residuos sólidos tratados, disminuyendo las cantidades de residuos sólidos que se disponen finalmente en el relleno sanitario.

### **3.1.3.Fase III. Comprobar**

#### **Etapa 5. Determinación y comparación del indicador integral y específicos después de aplicar la modelación matemática**

Aplicando las fórmulas definidas en el capítulo II para determinar el NDICS, y con los valores obtenidos antes y después de la aplicación del modelo matemático, sus resultados se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19**

Valor del indicador NDICS

Indicador	NDICS	Costo de operaciones (dólares)	Cantidades recolectadas (kg/año)	Cantidades tratadas (kg/año)	Cantidad		Ahorro del impacto ambiental (puntos)
					es dispuestas finalmente (kg/año)	Satisfacción al cliente (kg)	
Valor antes	0.65	22'745.525	70'000.000	58'800.000	11'200.000	70'000.000	0,4
Valor después	0.91	1'035.000	79'273.000	65'602.000	9'522.000	79'273.000	13,8

**Nota:** Autor (2024)

En la tabla se observa que el indicador integral aumentó de 0.65 a 0.91 lo que demuestra un mejoramiento en el nivel de desempeño integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos del Cantón Quevedo.

Entre las medidas de mejora para obtener un índice de desempeño integral relacionado con el escenario 7 se propone lo siguiente:

- Tener veinte sitios de acopio (generación) con una capacidad de 1100 toneladas cada uno;
- Instalación de dos sitios de separación, con la infraestructura adecuada, que permita abarcar la cantidad de RSU que se generan, se obtendría dos tipos de beneficios. El primer beneficio es el ambiental, por cuanto se tendrá menor cantidad de residuos no reciclados que se irían al sitio de disposición final, disminuyendo consigo los impactos negativos de transportación y de contaminación de suelos. Y, por otro lado, el beneficio social, por la mayor cantidad de productos reciclados que irían a cubrir la demanda de los clientes de tratamiento y compostaje;
- Con los recursos que se tiene actualmente en lo relacionado con los camiones que se utilizan en la transportación de los rsu, por su capacidad de carga que es de 10 toneladas, existen retrasos en los pedidos de los clientes. Invertir en la adquisición de dos camiones de mayor capacidad,

uno de 12 y otro de 15 toneladas, permitirá por un lado reducir el número de viajes con lo que los costos de transportación se reducirían y aumentarían la cantidad de productos reciclados, como papel, cartón, plástico, vidrio, metal y material orgánico;

- De los dos centros de tratamiento, solo se necesita del funcionamiento de uno solo de ellos, el cual es el que está localizado cerca del sitio de separación;
- De la misma manera se necesita de un solo centro de compostaje; y
- La disminución de estos centros de compostaje y tratamiento es por contar, por el momento, de catorce clientes a cada uno de ellos. Conforme aumente la demanda, se podría poner en operación a los restantes.

Con todo esto, se hace necesario hacer un proyecto de factibilidad económica, lo cual es parte de las recomendaciones de la investigación. Sin embargo, se hace un análisis preliminar, aunque se debe corroborarse con un proyecto de factibilidad.

Cantidad de residuos recolectados: Se cuenta los datos del Instituto de estadísticas y censo del Ecuador (2010) en donde la tasa de incremento anual de los residuos sólidos urbanos es del 1,043%, la tabla 20 indica la proyección de incremento.

**Tabla 20**

*Proyección de generación de los RSU*

Año	kg/año
2022	72.000.000
2023	72.750.960
2024	73.509.753
2025	74.276.459
2026	75.051.163
2027	75.833.946
2028	76.624.894
2029	77.424.092
2030	78.231.625

**Nota:** Autor (2024)

Ingresos por la recogida de los residuos sólidos urbanos: Estos ingresos se deben por la tasa de recolección de basura establecida por el gobierno autónomo descentralizado de Quevedo que es de un centavo por kilogramo de residuo recogido, el cual se le cobra a la ciudadanía a través de la planilla de energía eléctrica. La tabla 21 muestra la proyección de ingresos.

**Tabla 21**

*Proyección de ingresos por recolección de los RSU*

Años	Kg/año	Ingresos (\$)
2.022	72.000.000	720.000,00
2.023	72.750.960	727.509,60
2.024	73.509.753	735.097,53
2.025	74.276.459	742.764,59
2.026	75.051.163	750.511,63
2.027	75.833.946	758.339,46
2.028	76.624.894	766.248,94
2.029	77.424.092	774.240,92
2.030	78.231.625	782.316,25

**Nota:** Autor (2024)

Inversión. Está relacionada con la adquisición de dos camiones y los dos sitios de separación, en la tabla 22 se muestra los rubros.

**Tabla 22**

*Inversión*

Componentes	Valor (\$)
Obras para los sitios de separación	240.000,00
Infraestructura para los sitios de separación	220.000,00
Camión de 12 toneladas	110.000,00
Camión de 15 toneladas	130.000,00
<b>Inversión total</b>	<b>700.000,00</b>

**Nota:** Autor (2024)

Costos: Está relacionado con la contratación del personal para la administración y la operación de los sitios de separación. En las tablas 23, 24 y 25 se muestran sus valores.

**Tabla 23**

*Costos de costos de operación de los sitios de separación*

Nombre del cargo	Cantidad	Recaudación mensual (\$)	T. Anual (\$)
Administrador	2	1.000,00	24.000,00
Recaudador - lector	2	600,00	14.400,00
Secretaria contadora	2	500,00	12.000,00
Obreros	30	450,00	162.000,00
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>2.550,00</b>	<b>212.400,00</b>

**Nota:** Autor (2024)

**Tabla 24**

*Costos de los costos de operación del primer año*

Componentes	Valor (\$)
Personal	212.400,00
Herramientas	2.000,00
Materiales	3.000,00
Equipos	5.000,00
Depreciación anual	35.000,00
<b>Total costos</b>	<b>257.400,00</b>

**Nota:** Autor (2024)

**Tabla 25**

*Proyección de los costos*

Año	Costo total (\$)
2022	257.400,00
2023	260.085,00
2024	262.797,00
2025	265.538,00
2026	268.308,00
2027	271.106,00
2028	273.934,00
2029	276.791,00
2030	279.678,00

**Nota:** Autor (2024)

Evaluación económica: En la tabla 26 se muestra la evaluación económica hasta el año 2030

**Tabla 26**

*Evaluación económica*

Rubros	Años								
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Beneficios									
Ingresos x venta	0	727.5 09,60	735.0 97,53	742.7 64,59	750.5 11,63	758.3 39,46	766.2 48,94	774.2 40,92	782.3 16,25
Valor Residual									
Total beneficios	0	727.5 09,60	735.0 97,53	742.7 64,59	750.5 11,63	758.3 39,46	766.2 48,94	774.2 40,92	782.3 16,25
Egresos o costos									
Inversión	700.000 ,00								
Costos de O&M		260.0 85,00	262.7 97,00	265.5 38,00	268.3 08,00	271.1 06,00	273.9 34,00	276.7 91,00	279.6 78,00
Total costos	700.000 ,00	260.0 85,00	262.7 97,00	265.5 38,00	268.3 08,00	271.1 06,00	273.9 34,00	276.7 91,00	279.6 78,00
FNC (B-C)	- 700.000 ,00	467.4 24,60	472.3 00,53	477.2 26,59	482.2 03,63	487.2 33,46	492.3 14,94	497.4 49,92	502.6 38,25

**Nota:** Autor (2024)

Indicadores económicos

TIR: 66,60%

VAN: 1´693.907,73 (dólares americanos)

B/C: 1,83

La propuesta es factible

**3.1.4.Fase III. Actuar**

**Etapa 6. Seguimiento y control de la cadena**

Las actividades que garantizan el mejoramiento integral de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos del Cantón Quevedo, aparecen en la tabla 27, dirigidas a poner en práctica los elementos resultantes del escenario 7.

El cronograma de ejecución se lo realiza empleando la herramienta del diagrama de Gantt, aplicando el software *Microsoft Project*.

**Tabla 27**

*Medidas a ejecutarse en la gestión integral de la cadena de suministros de los RSU*

Medidas	Frecuencia	Recursos	Responsables
Determinación de la cantidad de residuos generados	Diario	Empresa municipal de aseo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerencia</li> <li>• Supervisor de sitio de generación</li> </ul>
Determinación de la cantidad de residuos clasificados y almacenados en los sitios de separación	Diario	Empresa municipal de aseo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerencia</li> <li>• Supervisor de sitio de separación</li> </ul>
Determinar la cantidad de productos que necesitan los clientes de tratamiento	Diario	Empresa municipal de aseo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerencia</li> <li>• Supervisor de sitio de tratamiento</li> </ul>
Determinar la cantidad de productos que solicitan los clientes de compostaje	Diario	Empresa municipal de aseo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerencia</li> <li>• Supervisor de sitio de compostaje</li> </ul>
Capacitación del personal de los sitios de separación, compostaje y tratamiento	Trimestral	Departamento de recurso humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dirección de talento humano</li> </ul>
Determinación de la disponibilidad de recursos	Trimestral	Departamento financiero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerencia</li> <li>• Dirección financiera</li> <li>•</li> </ul>
Determinación del estado en que se encuentran las maquinarias y equipos de la cadena	Semestral	Departamento de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisor de mantenimiento</li> <li>•</li> </ul>
Determinación de la estrategia organizativa de la cadena (corrida del	Mensual	Gerencia general	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerencia</li> <li>•</li> </ul>

modelo	decisional		
multicriterio)			
Preparación de las	Mensual	Departamento	• Gerencia
instalaciones, medios de		operaciones	• Supervisor de
manipulación y transporte			operaciones
disponibles para la			
operación			

**Nota:** Autor (2024)

### 3.2. Beneficios de la aplicación del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros del Cantón Quevedo

Asociados a la implementación de las soluciones derivadas de la aplicación del procedimiento general y los respectivos específicos se señalan los beneficios siguientes:

1. Identificación de los principales problemas que afectan a la cadena.
2. Determinación del nivel de efectividad del funcionamiento de la cadena de suministros.
3. Formación progresiva de una cultura de cambio, tanto en las formas actuales de pensar como en las de actuar.

### 3.3. Conclusiones parciales

1. La aplicación del procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros del Cantón Quevedo, permitió constatar su factibilidad y racional utilización como instrumento efectivo para perfeccionar el proceso de toma de decisiones relacionadas con la organización y ejecución de las actividades de determinación de la mejor alternativa de funcionamiento de la cadena, de los recursos necesarios y la red logística

adecuada, elevando la efectividad del proceso. Todo esto permitió validar la hipótesis formulada en esta investigación.

2. El modelo matemático propuesto en lo relacionado con la parte económica se reduce considerablemente en un 95%, mediante actividades relacionadas con la utilización de un solo sitios de tratamiento y de compostaje y el uso de dos camiones con mayor capacidad de carga.
3. La evaluación de los impactos ambientales contribuyó a disminuir los efectos negativos que provocan los procesos de los residuos sólidos urbanos al medio ambiente. En este sentido, se destacan como factores decisivos la mayor cantidad de residuos reciclados, reducción de viajes por parte de los camiones y desechos que llegan al relleno sanitario.
4. En lo referente al aspecto social, éste está relacionado con la calidad del servicio de recolección y sobre todo, si se pone en aplicación de los dos sitios de separación, se abriría treinta y seis nuevos puestos de trabajo para la comunidad.
5. En el cálculo del indicador Nivel de Desempeño Integral de la cadena de suministros antes NDICS permitió conocer el desempeño actual de la ciudad de Quevedo, que cuyo valor de 0.61 se considera como malo, que existen problemas y dificultades que hacen que su operación sea ineficiente. Se complementa con el modelo matemático para optimizar los recursos dando como resultado que su valor aumente a muy bueno con 0,91.



**CAPITULO**

**04**

**CONCLUSIONES  
GENERALES Y  
RECOMENDACIONES**



## Conclusiones generales y Recomendaciones

### 4.1. Conclusiones generales

1. El estudio bibliográfico realizado para la construcción del marco teórico referencial de la investigación confirma la existencia de una amplia base conceptual sobre la logística y sus aplicaciones y el desempeño integral de la cadena de suministro como una alternativa para su mejora. Sin embargo, no se hallaron precedentes, en la bibliografía consultada sobre la gestión de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de integración de los procesos logísticos que permitan su mejora. Por otro lado, tampoco se encontró evidencia del empleo simultáneo de elementos económicos, ambientales y sociales en su análisis.
2. En el contexto de la investigación realizada en esta Tesis Doctoral, quedó demostrado que la gestión de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros requiere ser realizada bajo nuevos instrumentos metodológicos que permitan conjugar los conocimientos teóricos, con aquellos de carácter práctico aportados por los especialistas que laboran en este proceso, considerando la solución del problema en toda su complejidad. Esto, por una parte, corrobora la correcta formulación del problema científico planteado en la tesis y por otra, reitera que la utilización de la herramienta que compone el procedimiento con un enfoque en proceso contribuye a mejorar los índices de desempeño en esta cadena.
3. El procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos con un enfoque de cadena de suministros permitió revelar los principales problemas que afectan el índice de desempeño de la cadena de suministro estudiada.
4. Con el análisis de la situación actual de la cadena de suministros de los RSU del Cantón Quevedo, se identificaron los principales problemas de su desempeño, entre los cuales se pueden mencionar, el mal manejo de los rubros económicos en los procesos, el desaprovechamiento de las

capacidades instaladas y la ineficiencia en las rutas de los camiones que son utilizados para la transportación de los residuos.

5. El indicador NDICS, con una estructura multicriterio dada, obtenido como resultado de esta investigación, permite determinar el índice de desempeño de la cadena de suministro de los RSU, complementado con el modelo matemático propuesto, se toman las alternativas para su mejora.

## **4.2. Recomendaciones**

1. Realizar una continua evaluación y control del comportamiento de la cadena de suministros de los RSU, objeto de estudio, para poder realizar la previsión de problemas y lograr su corrección, con vistas a mantener un mejoramiento continuo de su gestión.
2. Perfeccionar el procedimiento propuesto, ampliando el estudio de la sostenibilidad de la cadena de suministro de los RSU en el Ecuador en lo social (vinculación de personas que actualmente están en procesos de separación de residuos en los sitios de disposición final, a sitios con mejores condiciones de trabajo), en lo ambiental (tratamiento de residuales y otros elementos vinculados a la reputación ecológica) y en lo económico (generación de ahorros, utilización del equipamiento e instalaciones, reducción de costos, etc.).
3. Continuar la divulgación de los resultados de esta investigación mediante su publicación y presentación en artículos y eventos científicos, particularmente relacionados con la manipulación de los residuos, como una forma de contribuir a la generalización de los resultados obtenidos, en todas las provincias y municipios del país.
4. Incorporar los procedimientos y experiencias de esta investigación en la enseñanza de pregrado y postgrado de las disciplinas Logística y Matemática Aplicada de manera que los actuales y futuros profesionales de la Ingeniería Industrial integren al proceso de toma de decisiones multicriterio.

5. Aplicar el procedimiento general, con sus respectivos específicos, así como también el modelo matemático en otras cadenas de suministros de residuos sólidos urbanos del Ecuador, y en otros objetos de estudio, como son la gestión de los residuos hospitalarios, de escombros y residuos industriales. Esto como forma de comprobar su generalidad, a partir de la identificación de los criterios más afines al objeto de estudio y la escala de evaluación para cada uno de estos y para el NDICS.
6. Elaborar un proyecto de factibilidad económica y financiera, para determinar los beneficios económicos y sociales, así como también un análisis de sensibilidad de la aplicación de las recomendaciones realizadas a la cadena de suministros.





# **Anexos**



**Anexo 1:** Análisis de artículos científicos relacionas con el tema de investigación

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación				Ámbito de la investigación			Indicadores			
			A	Rv	GRS U	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado				Integ GICS	E	S	Am	IP	II		
														G	R	Tr	T							D F	C
Greene, L Tonje D.	Evaluaciones cuantitativas de los sistemas de gestión de residuos municipales: Utilización de diferentes indicadores para comparar y clasificar los programas en el Estado de Nueva York	2014	X							X					X									X	X
Gallardo, M. Peris, F. Colomer j.	Metodología para diseñar un mapa de generación y composición de residuos sólidos municipales: Un estudio de caso	2014	X		X									X				X		X					

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación						Ámbito de la investigación			Indicadores												
			A	Rv	GRSU	ADM C	LCA	PL	MH	TPE	ME	RN	LD	Detallado						Integ	E	S	Am	IP	II											
														G	R	Tr	T	DF	C							GICS										
Lee, C.L. Yeung, Z.R. Xiong, S.H. Chung	Análisis estadístico en la evaluación del desempeño de la recolección de RSU	2014	X												X	X																				
Sefouhi L , Kalla M., Bahmed L.	Evaluación de diferentes métodos de tratamiento para una gestión integrada de residuos municipales en una ciudad argelina	2014	X												X	X									X											
Santos, C. Romanip M.	Una corrección en la herramienta metodológica del MDL para estimar las	2015		X																																







Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología									Alcance de la investigación					Ámbito de la investigación			Indicadores																	
			A	Rv	GRSU	ADM C	LCA	PL	MH	TPE	ME	RN	LD	Detallado					Integ	E	S	Am	IP	II															
														G	R	Tr	T	DF							C	GICS													
	de residuos con análisis de flujo de materiales (MFA) y evaluación del ciclo de vida consecuente (CLCA): estudio de caso de reciclaje de papel usado																																						
Kinobe, T. Bosona, G. Gebresenbet, C.B. Niwegaba, B.	Optimización de la recogida y eliminación de residuos en la ciudad de Kampala	2015	X		X										X	X	X	X															X						
Braida W.	Gestión sostenible de residuos sólidos urbanos: Desarrollo e implementación de un índice de	2015	X		X										X	X		X	X				X	X		X	X				X								

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación					Ámbito de la investigación			Indicadores					
			A	Rv	GRS U	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado					Integ	E	S	Am	IP	II				
														G	R	Tr	T	D F	C						GICS			
	sostenibilidad de una sola puntuación																											
Singh M., Brueckner M, Kumar P.	Sistema de gestión ambiental ISO 14001: reducción efectiva de residuos en pequeñas y medianas empresas en la India	2015	X		X									X												X		
Miezah   Kwasi O. Zsófia K.   Fei-Baffoe   Mensah Y.	Caracterización y cuantificación de los residuos sólidos municipales como medida para una gestión eficaz de los	2015	X		X									X	X			X								X		

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología									Alcance de la investigación					Ámbito de la investigación			Indicadores				
			A	Rv	GRS U	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado					Integ	E	S	Am	IP	II		
														G	R	Tr	T	D F	C						GICS	
	desechos en Ghana																									
. Greene L. Tonjes D.	Evaluaciones cuantitativas de los sistemas de gestión de residuos municipales: Utilización de diferentes indicadores para comparar y clasificar los programas en el Estado de Nueva York	2015	X		X										X	X	X		X						X	X
Abdulla A. Hussain M.,	Una revisión sobre las tecnologías y su uso en sistemas de monitoreo y manejo de residuos	2015		X																						









Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación				Ámbito de la investigación			Indicadores					
			A	Rv	GRS U	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado				Integ GICS	E	S	Am	IP	II				
														G	R	Tr	T							D F	C		
	caso: Birjand plain, Irán)																										
Elsaid S, Aghezzaf H.	Un marco para la gestión sostenible de los residuos: desafíos y oportunidades	2015	X				X										X		X								
Ak H, Braida W.	Gestión sostenible de residuos sólidos urbanos: Desarrollo e implementación de un índice de sostenibilidad de una sola puntuación	2015	X			X									X	X			X							X	
Vučijak B, Midžić S Kurtagić, Silajdžić	La toma de decisiones multicriterios en la selección del mejor escenario de manejo de	2016	X			X									X	X	X										X



Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación					Ámbito de la investigación			Indicadores						
			A	Rv	GRS U	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado					Integ	E	S	Am	IP	II					
														G	R	Tr	T	D F	C						GICS				
	con nanopartículas de plata y dióxido de titanio																												
Albores, K. Petridis, P. Dey K.	Análisis de la Eficiencia de los Residuos en los Sistemas Energéticos: Uso del Análisis de Envoltura de Datos en la Gestión de Residuos Sólidos Municipales	2016	X				X									X		X				X				X			
D'Onza G, Greco G., Allegrini M.	Contabilidad de costes completa en el análisis de la eficiencia de la recogida de residuos: Una	2016	X				X									X		X				X				X			

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación					Ámbito de la investigación			Indicadores				
			A	Rv	GRS U	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado					Integ	E	S	Am	IP	II			
														G	R	Tr	T	D F	C						GICS		
	propuesta metodológica																										
Kayakutlu G., Daim T, Kunt M, Altay A, Suharto Y.	Escenarios para la gestión regional de residuos	2016	X										X		X		X									X	
Chifari Y. Lo S Bukkens, M. Giampietro M	Un marco holístico para la evaluación integrada de los sistemas de gestión de residuos urbanos	2016	X						X						X	X	X									X	
Gaglias, S. Mirasgedis, C. Tourkolias, E. Georgopoulou	Implementación del Método de Valoración Contingente para apoyar la toma de decisiones en el sector de	2016	X							X									X			X				X	

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación					Ámbito de la investigación			Indicadores			
			A	Rv	GRSU	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado					Integ	E	S	Am	IP	II		
														G	R	Tr	T	D F	C						GICS	
	gestión de residuos																									
Tascione V, Raggi M.	Optimización del desempeño ambiental de escenarios integrados de gestión de residuos por medio de la programación lineal: un estudio de caso	2016	X					X								X		X			X				X	
Haraldsson M.	¿Se pierde la transparencia y la rendición de cuentas ?: Contabilidad de costes completos en el negocio sueco de residuos sólidos urbanos	2016	X		X											X					X					

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación				Ámbito de la investigación			Indicadores					
			A	Rv	GRS U	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado				Integ GICS	E	S	Am	IP	II				
														G	R	Tr	T							D F	C		
Kharat M, Rakesh D Sachin S Kamble S Kamble J.	La aplicación del método Delphi y AHP en la selección de tecnologías ambientales para el tratamiento y eliminación de residuos sólidos	2016	X						X									X						X			
JeswaniH. Azapagic A	Evaluación de la sostenibilidad ambiental de la recuperación de energía de los residuos sólidos urbanos en el Reino Unido	2016	X					X										X							X		
Lee, C.L. Yeung, Z.R. Xiong, S.H. Chung	Modelo matemático para la gestión de residuos sólidos municipales Un	2016	X					X								X	X		X	X				X		X	



Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación					Ámbito de la investigación			Indicadores																			
			A	Rv	GRSU	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado					Integ	E	S	Am	IP	II																		
														G	R	Tr	T	D F	C						GICS																	
	municipales: Un caso de Bangkok, Tailandia																																									
Abbasi, A. Hanandeh S.	Previsión de la generación de residuos sólidos municipales mediante modelos de inteligencia artificial	2016	X								X			X																												
Younes K., Nopiah Z, Ahmad N. Basri, H. Basri, M.. Younes Y.	Estimación del área de relleno sanitario basada en opciones integradas de eliminación de desechos y pronóstico de residuos sólidos usando el	2016	X								X	X		X	X				X																					X		

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación				Ámbito de la investigación			Indicadores																	
			A	Rv	GRS U	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado				Integ	E	S	Am	IP	II																
														G	R	Tr	T	D F						C	GICS														
	modelo ANFIS modificado																																						
Guo H, Hobbs F., Molly E. Lasater L. Parker, J.	Evaluación de las intervenciones basadas en la dinámica de sistemas para promover comportamientos apropiados de eliminación de desechos en áreas urbanas de bajos ingresos: Un estudio de caso de Baltimore	2016	X		X										X	X				X																			
Azadi, S. Karimi-Jashni Y.	Verificación del desempeño de redes neuronales artificiales y regresión lineal	2016	X					X				X		X																									

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación				Ámbito de la investigación			Indicadores											
			A	Rv	GRSU	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado				Integ	E	S	Am	IP	II										
														G	R	Tr	T	D F						C	GICS								
	múltiple en la predicción de la tasa media de generación de residuos sólidos municipales estacionales: Estudio de caso de la provincia de Fars, Irán																																
Shankar D., Saptarshi P. Indranil D. Leahy J., Kwapinski W.	Método de modelado basado en redes neuronales artificiales para la gasificación de residuos sólidos municipales en un reactor	2016	X																										X		X		
Bing W.	Desafíos de investigación en la gestión de	2016		X																													

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación				Ámbito de la investigación			Indicadores				
			A	Rv	GRSU	ADM C	LCA	PL	MH	TPE	ME	RN	LD	Detallado				Integ	E	S	Am	IP	II			
														G	R	Tr	T	DF						C	GICS	
	logística de residuos sólidos municipales																									
Clay A, Jaramilloc, D. Prasad E. Kaparajue J.	Waste-To-Energy Technologies: an opportunity of energy recovery from Municipal Solid Waste, using Quito - Ecuador as case study	2017	X								X			X			X				X					
Liu, Yan H, Dong L, Yang, Y. Zhang, S.	Análisis LCA de la gestión de residuos sólidos municipales	2017	X				X									X		X			X		X			
Ripa, G. Fiorentino, V. Vacca, S.	El caso de la gestión de residuos sólidos municipales en la ciudad metropolitana de Nápoles	2017	X				X									X		X			X		X			

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología									Alcance de la investigación					Ámbito de la investigación			Indicadores					
			A	Rv	GRSU	ADM C	LCA	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado					Integ	E	S	Am	IP	II			
														G	R	Tr	T	D F	C						GICS		
Ripa, G. Fiorentino, H. Giani, A. Clausen, S.	Obtención de combustible de biomasa recuperado de los residuos sólidos municipales. Una evaluación del ciclo de vida	2017	X				X															X					
Bueno, I. Latasa, P.. Lozano G. Bueno, I. Latasa, P.	Comparación de LCA de dos enfoques con diferente énfasis en la recuperación de energía para un sistema municipal de gestión de residuos sólidos en Gipuzkoa	2017	X				X																				
Rao N. Razia S. Sri H.	Residuos sólidos urbanos	2017		X																							

Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación					Ámbito de la investigación			Indicadores				
			A	Rv	GRS U	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado					Integ	E	S	Am	IP	II			
														G	R	Tr	T	D F	C						GICS		
Sarra A, Mazzocchitti M. Rapposelli A.	Evaluación del desempeño ambiental y de costos en los sistemas municipales de manejo de desechos a través del análisis de envoltura de datos: Efectos de escala e implicaciones de políticas	2017	X						X					X	X							X			X		
Kiran S. Burton, A. Dedekorkut- H.	Privatización de la gestión de residuos sólidos municipales y sus impactos en el sector informal de residuos	2017		X																							















Autores	Título	Año	Tipo de investigación		Metodología										Alcance de la investigación				Ámbito de la investigación			Indicadores					
			A	Rv	GRSU	ADM C	LC A	P L	M H	TP E	M E	R N	L D	Detallado				Integ	E	S	Am	IP	II				
														G	R	Tr	T	D F						C	GICS		
Jugend A., a Gomes B.	economy perspective e A systematic review and SWOT analysis																										
Das S.. Lee B, Kumar C., Ki-Hyun K. Sang S. Lee E, Bhattacharya S.	Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability	2019		X																							
Silva A. Domingos P. Marques P. Pavan K.	Sustainability indicators for urban solid waste management in large and medium-sized worldwide cities	2019	X								X					X	X			X	X		X				
Duarte B. Azevedo L.,	Urban solid waste management in	2019		X																							







**Anexo 2:** Entrevista con los candidatos a expertos

**Estimado especialista:**

El propósito de la presente entrevista es para determinar el grado de conocimiento y experiencia en temas relacionadas con el “Mejoramiento del desempeño integral de la cadena de suministros de los residuos sólido-urbanos del Cantón Quevedo”, ya que usted ha sido seleccionado como candidato a experto para colaborar con la presente investigación

**I. Datos generales**

Nombres y apellidos: .....

Años de experiencia laboral (marcar con una x lo que corresponda):

a) .... Menos de cinco años; b) .... Entre cinco y diez años; c) .... Más de diez años

Nivel de instrucción alcanzado (primario, secundario, terciario, universitario; de posgrado especialización, maestría, doctorado):

.....

Actividad en la que se desempeña actualmente:

- a. Industria (especificar): .....
- b. Academia (especificar): .....
- c. Función pública (especificar: municipal, provincial o nacional): .....
- d. Organización sectorial (especificar): .....
- e. Otra (especificar): .....
- f. Especificar lugar de trabajo actual: .....

Actividades laborales realizadas en el pasado	Años de actividad laboral (marcar con una x donde corresponda)			
	<1	≥1; <5	≥5; <10	>10
1. Industria (especificar):.....				
2. Academia (especificar): .....				
3. Función pública (especificar: municipal, provincial o nacional): .....				
4. Otra (especificar):.....				

**Anexo 3:** Matriz de impacto ambiental del proceso de gestión integral de residuos sólidos urbanos

Acciones propuestas			A. Recolección de residuos sólidos urbanos	B. Transporte de residuos sólidos urbanos	C. Tratamiento de residuos sólidos urbanos (compostaje y reciclaje)	D. Disposición final de residuos sólidos urbanos (relleno sanitario)	Evaluaciones
A. Características físicas y químicas	1. Tierra	A. Suelos	-4	-4	6	-10	-12
			8	8	8	10	34
		B. Geomorfología	-5		7	-10	-8
			5		6	10	21
	2. Agua	A. Continental	-7		8	-10	-9
			9		9	9	27
		B. Subterránea	-6		9	-10	-7
			8		9	10	27
		C. Calidad	-4		9	-10	-5
			5		9	10	24
		D. Temperatura	-3		6	-6	-3
			3		5	5	13
	3. Atmósfera	A. Calidad (gases, partícula)	-8	-7	8	-9	-16
			9	8	9	10	36
		B. Clima (Micro y macro)	-9	-6	8	-9	-16
			9	7	9	10	35
		C. Temperatura	-9	-5	8	-9	-15
			9	7	9	10	35
	4. Procesos	A. Compactación y asientos	-8	-8		-10	-26
			8	8		10	26
B. Movimientos de aire		-9	-8	-9	-10	-36	
		9	9	9	10	37	
B. Condición	1. Flora	A. Árboles	-8	-2	-9	-10	-29
			10	3	9	10	32
	B. Arbustos	-8	-2	-9	-10	-29	

Acciones propuestas			A. Recolección de residuos sólidos urbanos	B. Transporte de residuos sólidos urbanos	C. Tratamiento de residuos sólidos urbanos (compostaje y reciclaje)	D. Disposición final de residuos sólidos urbanos (relleno sanitario)	Evaluaciones	
C. Factores culturales	1. Usos del territorio	A. Espacios abiertos o salvajes			-8	-10	-18	
					10	10	20	
		B. Residencial	-10	-8			-18	
			10	10			20	
		C. Comercial	-10	-8			-18	
			10	10			20	
		2. Estéticos y de interés	A. Vistas panorámicas y paisajes	-9	-7	8	-10	-18
				8	8	8	10	34
			B. Naturaleza	-9	-6	10	-10	-15
				10	8	10	10	38
	2. Fauna	A. Pájaros (Aves)		10	3	9	10	32
			C. Hierbas	-8	-2	-9	-10	-29
				10	3	9	10	32
			D. Microflora	-8	-2	-9	-10	-29
			10	3	9	10	32	
		B. Animales terrestres incluso reptiles		-7			-10	-17
				10			10	20
		C. Peces y crustáceos		-7	-7		-10	-24
				10	10		10	30
		D. Organismos benéficos		-6			-7	-13
			8			9	17	
E. Insectos			-7		7	-10	-10	
			10		9	10	29	
F. Microfauna			-2	-2	-2	-7	-13	
		8	8	8	9	33		
		-7			-10	-17		
		10			10	20		

Acciones propuestas			A. Recolección de residuos sólidos urbanos	B. Transporte de residuos sólidos urbanos	C. Tratamiento de residuos sólidos urbanos (compostaje y reciclaje)	D. Disposición final de residuos sólidos urbanos (relleno sanitario)	Evaluaciones
D. Relaciones ecológicas	3. Nivel cultural	C. Paisajes	-9	-6	9	-10	-16
			10	8	10	10	38
	3. Nivel cultural	A. Estados de vida	10	5	9	-6	18
			10	6	10	10	36
		B. Salud y seguridad	10	5	8	-6	17
			10	6	10	10	36
		C. Empleo	8	7	10	10	35
			8	8	10	10	36
	D. Densidad de población	8	5			13	
		8	5			13	
	4. Servicios e infraestructuras	A. Estructuras	7				7
			9				9
		B. Red de transportes		6			6
				8			8
		C. Red de servicios	7	6	8		21
			9	8	9		26
		D. Vertederos de residuos				10	10
						10	10
	D. Relaciones ecológicas	A. Salinización con recursos de aguas	-8		8	-9	-9
			8		8	8	24
B. Eutrofización		-9				-9	
		9				9	
C. Insectos portadores de enfermedades		-10	-9	-4	-10	-33	
		10	10	6	10	36	
D. Cadenas alimentarias		-8	-5	5	-10	-18	
		10	10	6	10	36	
E. Salinización de suelos	-8		8	-9	-9		

Acciones propuestas		A. Recolección de residuos sólidos urbanos	B. Transporte de residuos sólidos urbanos	C. Tratamiento de residuos sólidos urbanos (compostaje y reciclaje)	D. Disposición final de residuos sólidos urbanos (relleno sanitario)	Evaluaciones	
		8		8	8	-440	-440
	F. Invasión de malezas	-8		-7	-8	1089	1089
		8		8	8		
Evaluaciones	Magnitud	-188	-70	93	-275	-440	-440
	Importancia	333	182	248	326	1089	1089

**Nota:** Autores (2024)

#### Anexo 4: Encuesta para evaluar la satisfacción de los clientes

Para la empresa Municipal de aseo, es importante conocer el nivel de satisfacción de sus clientes con vistas a mejorar el servicio por tal motivo le solicitamos nos contribuya respondiendo las preguntas siguientes:

- Valore de 1 a 5 el grado en que la entidad cumple con los atributos que se mencionan, otorgando 5 si lo cumple totalmente y 1 si no los cumple.
- Otorgue de 1 a 10 puntos a los atributos según su importancia, dando mayor puntuación a los más importantes.

No.	Atributos	Evaluación de 1 a 5	Importancia
1	Calidad del servicio		
2	Frecuencia de las rutas de recolección		
3	Cumplimiento de las rutas de recolección		
4	Cantidad de residuos sólidos recolectados		
5	Trato del personal		
6	Correspondencia entre valor del servicio y calidad de este		

7	Control de malos olores		
8	Control de derrame de lixiviado y restos de residuos sólidos en la vía pública		
9	Preocupación por la conservación de las unidades compactadoras y contenedores		
10	Preocupación por la conservación del paisaje		

**Anexo 5: Análisis FODA**

<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordinación entre barrios en distintos sectores de la ciudad.</li> <li>• Sitios destinados por la municipalidad para la recolección, reciclaje y tratamientos de residuos sólidos.</li> <li>• Administración municipal dispone de vehículos de transporte para la recolección de residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planes de gestión de residuos de la municipalidad no se desarrollan efectivamente.</li> <li>• Carencia de cultura ambiental por parte de los ciudadanos.</li> <li>• Actualmente la gestión de residuos sólidos no abarca el cantón en su totalidad.</li> </ul>
<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspectos legislativos y ordenanzas públicas que regulan la gestión de residuos sólidos</li> <li>• La gestión, tratado y separación de residuos sólidos generarían vacantes de empleo en la ciudad.</li> <li>• El reciclaje generaría rentabilidad mediante implementación de microempresas o su comercialización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deficiencia en la gestión y control de residuos sólidos en el cantón.</li> <li>• Inexistencia de regulación de precios en el mercado de productos reciclables.</li> <li>• Reciclaje de residuos sólidos con empresas privadas como intermediaria no resulta rentable.</li> </ul>

<b>Asignación de ponderación</b>	
3	Importante
2	Algo importante
1	Nada importante

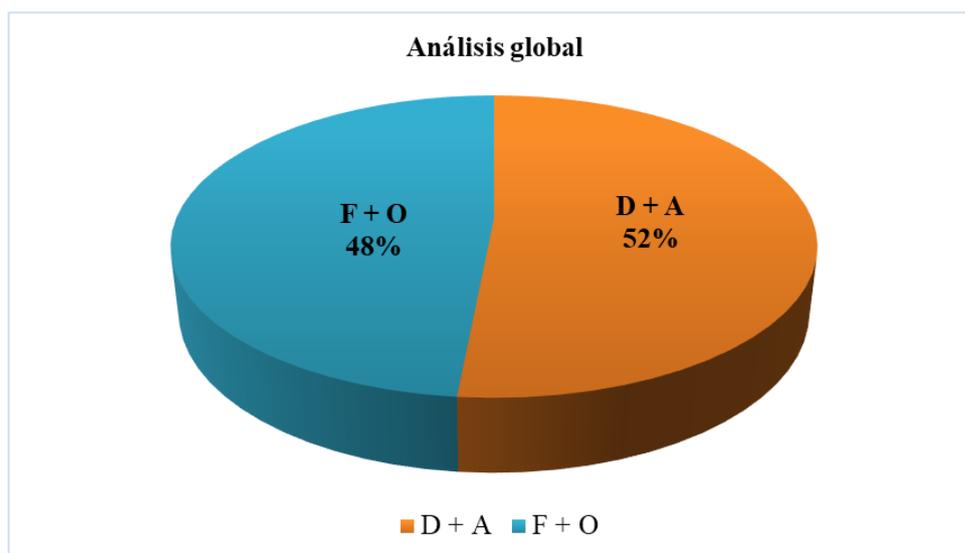
<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>	<b>Total</b>
Coordinación entre barrios en distintos sectores de la ciudad <b>(2)</b>	Planes de gestión de residuos de la municipalidad no se desarrollan efectivamente <b>(3)</b>	Aspectos legislativos y ordenanzas públicas que regulan la gestión de residuos sólidos <b>(3)</b>	Deficiencia en la gestión y control de residuos sólidos en el cantón <b>(3)</b>	<b>11 (33%)</b>
Sitios destinados por la municipalidad para la recolección, reciclaje y tratamientos de residuos sólidos <b>(3)</b>	Carencia de cultura ambiental por parte de los ciudadanos <b>(2)</b>	La gestión, tratado y separación de residuos sólidos generarían vacantes de empleo en la ciudad <b>(2)</b>	Inexistencia de regulación de precios en el mercado de productos reciclables <b>(3)</b>	<b>10 (30%)</b>
Administración municipal dispone de vehículos de transporte para la recolección de residuos <b>(3)</b>	Actualmente la gestión de residuos sólidos no abarca el cantón en su totalidad <b>(3)</b>	El reciclaje generaría rentabilidad mediante implementación de microempresas o comercialización <b>(3)</b>	Reciclaje de residuos sólidos con empresas privadas como intermediaria no resulta rentable <b>(3)</b>	<b>12 (37%)</b>
<b>8 (24%)</b>	<b>8 (24%)</b>	<b>8 (24%)</b>	<b>9 (28%)</b>	<b>33 (100%)</b>

**Determinación del balance estratégico con resultados numéricos y porcentajes.**

$F + O =$  Factor de optimización

$D + A =$  Factor de riesgo

<b>F + O</b>	<b>D + A</b>	<b>% F + O</b>	<b>% D + A</b>	<b>TOTAL</b>
16	17	48%	52%	100%



**Análisis:** La diferencia del balance es 4%, el factor de riesgo (debilidades y amenazas) tiene un 52% contra las fortalezas y oportunidades que representan un 48%, por tanto se debe intervenir en aspectos relacionados a los puntos débiles para contrarrestar el nivel de riesgos de la influencia que abarca la gestión de residuos sólidos.

**Anexo 6:** Encuesta realizada a los integrantes (directivos y operarios) de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos del Cantón Quevedo del Ecuador

Diga su cargo: Administrativo\_\_ Técnico\_\_ Operario\_\_

1. Las condiciones de los medios de trabajo, herramientas y demás recursos utilizados son:

Buenas\_\_ Regulares\_\_ Malas\_\_ Muy Malas

2. ¿Conoce usted cómo se determina la tarea de su área? Si \_\_\_ No\_\_\_

En caso afirmativo explique y diga la cuantía \_\_\_\_\_

---



---

3. A su juicio cuáles son los factores que pueden provocar demoras en el traslado de los residuos sólidos de una estación a otra

---



---

4. ¿Conoce usted la cantidad mínima de transportación de residuos? Si \_\_\_  
No\_\_\_  
En caso afirmativo escriba su cuantía \_\_\_\_\_
5. ¿Cree usted que con los medios disponibles sea posible realizar la tarea asignada al 100%? Si \_\_\_ No\_\_\_  
¿Por qué? \_\_\_\_\_
6. A su criterio, el mantenimiento de los vehículos es: Frecuente\_\_\_ Poco Frecuente\_\_\_
7. A su criterio el consumo de combustible de los vehículos de transportación es \_\_\_\_\_.
8. Las condiciones actuales de los vehículos de transportación provocan derrames y malos olores. Si \_\_\_ No\_\_\_
9. ¿Conoce usted la cantidad diaria de residuos que llegan al relleno sanitario? Si\_\_\_ No\_\_\_  
En caso afirmativo de qué cantidad se está hablando aproximadamente?  
\_\_\_\_\_
10. ¿Qué cantidad de productos son enviados a los clientes de compostaje\_\_\_\_\_
11. ¿Qué cantidad de productos son enviados a los clientes de tratamiento?  
\_\_\_\_\_
12. Marque con una X cuáles de los puntos siguientes que usted considera que más se invierte dinero:
  - \_\_\_ Mantenimiento de vehículos
  - \_\_\_ Almacenaje de productos
  - \_\_\_ Separación de los productos
  - \_\_\_ Otros. ¿Cuáles? \_\_\_\_\_
13. ¿Es controlada sistemáticamente la entrega de los productos obtenidos a los diferentes clientes? Si\_\_\_ No\_\_\_  
En caso afirmativo diga cada qué tiempo \_\_\_\_\_
14. Marque con una cruz los factores que más han provocado aspectos negativos en el ambiente:
  - \_\_\_Malos olores
  - \_\_\_Derrames
  - \_\_\_Ruido

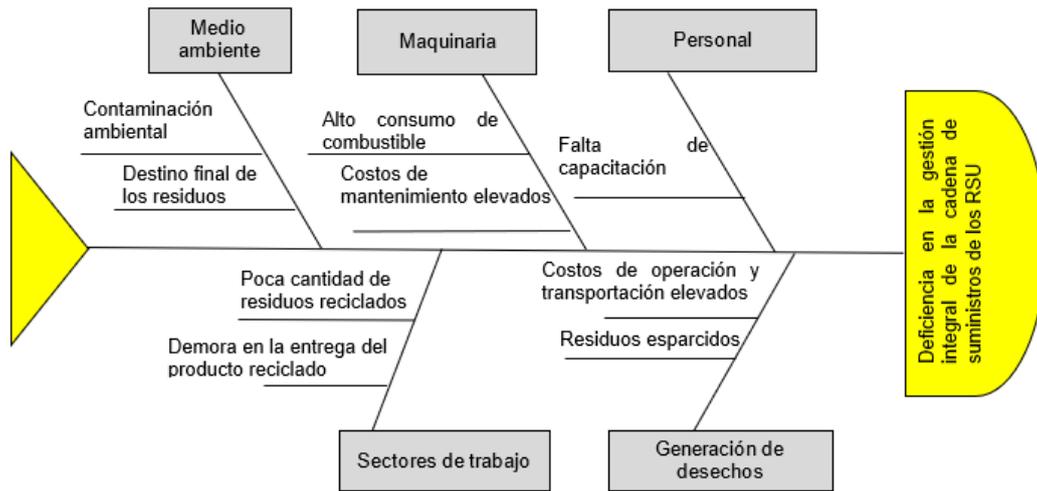
- \_\_\_Otros. ¿Cuáles? \_\_\_\_\_
15. ¿Cómo se lleva el proceso de reparación o compra de piezas para los equipos? \_\_\_\_\_
- a. En su opinión este proceso es: Rápido\_\_\_ Lento\_\_\_ Regular\_\_\_
16. ¿Usted se siente incentivado a realizar su trabajo? Si\_\_\_ No\_\_\_.
- ¿Por \_\_\_\_\_ qué?
17. ¿Existe algún sistema de estimulación vinculado a los resultados obtenidos?
- Si\_\_\_ No\_\_\_
- En caso afirmativo explique en qué consiste y diga si está en correspondencia con los resultados alcanzados \_\_\_\_\_
18. ¿Este sistema de estimulación está condicionado a algo extra a su esfuerzo personal? Si\_\_\_ No\_\_\_
- En caso afirmativo, ¿lo considera adecuado? \_\_\_\_\_.
19. ¿Es escuchada su opinión al tratar de resolver los problemas que se presentan?
- Si\_\_\_ No\_\_\_
20. ¿Tiene acceso a cursos de superación?
- Si\_\_\_ No\_\_\_ No existen\_\_\_

**Anexo 7:** Resultados del procesamiento de las encuestas aplicadas a los integrantes (directivos y operarios) de la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos del Cantón Quevedo del Ecuador

1. El 70% plantea que las condiciones de los medios de trabajo son regulares.
2. El 100% conoce la tarea de su área y de este el 90% conoce como se determina.
3. En cuanto a los factores que provocan demora:
  - El 60% señala la lentitud de embarque de la carga

- El 30% por trámites engorrosos en el despacho del material
  - El 10% señala la falta de medios de transporte.
4. El 80% conoce la cantidad de carga transportada (20 toneladas diarias).
  5. El 70% plantea que los medios disponibles no son suficientes para cumplir la tarea.
  6. El 90% plantea que el mantenimiento de los vehículos es frecuente.
  7. El 100% coincide en que el consumo de combustible de los vehículos es muy elevado.
  8. El 100% plantea que los vehículos provocan derrames y malos olores.
  9. El 100% indica que es muy elevado la cantidad de residuos que llega al relleno sanitario
  10. El promedio es de 30 toneladas diarias
  11. El promedio es de 25 toneladas diarias
  12. Factores de mayor inversión de dinero.
    - 70% mantenimiento de vehículo
    - 20% en operaciones de almacenaje
    - 10% en operaciones de separación
  13. El 80% indica que no es controlada
  14. Factores que influyen negativamente en el ambiente
    - 60% malos olores.
    - 30% derrames.
    - 10% ruidos
  15. El 80% indican que el proceso es demasiado lento
  16. El 70 % manifiesta que sí
  17. El 50 % ha recibido estímulos económicos
  18. El 80 % lo considera adecuado
  19. El 60% manifiesta que sí
  20. El 100% manifiesta que no

**Anexo 8: Diagrama ISHIKAWA**



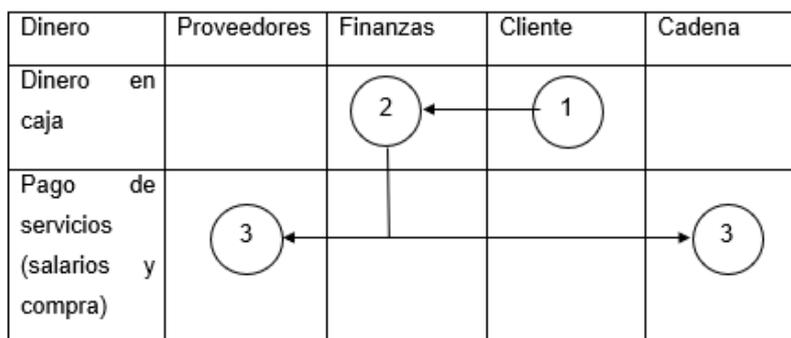
**Anexo 9: Determinación del modelo general de organización (MGO)**

Fujo material

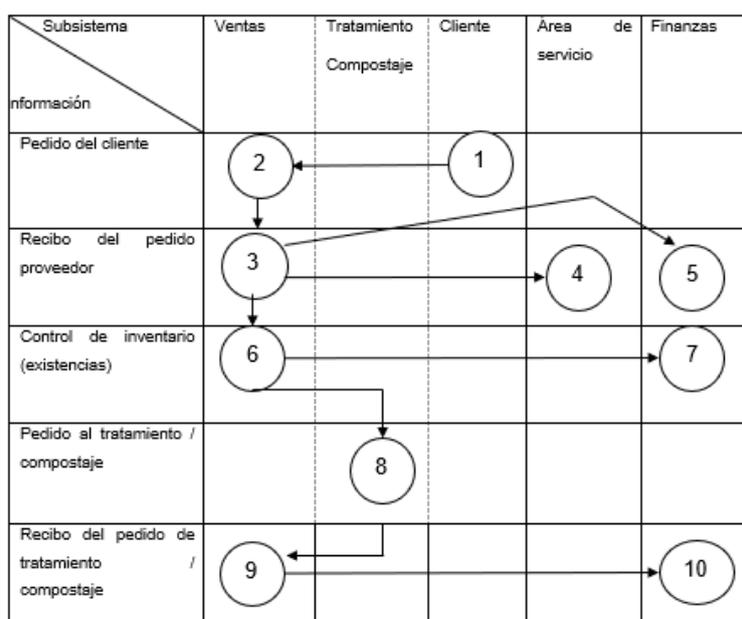
Subsistema	Generación	Separación	Tratamiento	Compostaje	Disposición final	Clientes
<b>Elementos</b>						
Barrido y Recolección	1	6				
Residuos sólidos urbanos	2					
Papel, cartón, plástico, vidrio y metal			3			7
Compostaje				4		8
Residuos no recuperados					5	

Flow arrows and labels in the diagram: 1 → 2 (M4), 2 → 6 (M4), 6 → 3 (M1), 3 → 7 (M2), 3 → 4 (M1), 4 → 8 (M2), 4 → 5 (M3).

Flujo financiero



Flujo informativo



**Anexo 10:** Parámetros del modelo matemático multiobjetivo

**Parámetros**

$G_{ir}$ : cantidad de producto r de la fuente generadora i producidos en el período (Toneladas)

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
i1	3.169	460	409	102	153	818
i2	3.255	473	420	105	158	840
i3	3.122	453	403	101	151	806
i4	3.354	487	433	108	162	866

i5	2.560	372	330	83	124	661
i6	2.902	421	374	94	140	749
i7	3.491	507	450	113	169	901
i8	3.410	495	440	110	165	880
i9	3.336	484	430	108	161	861
i10	3.230	469	417	104	156	834
i11	3.255	473	420	105	158	840
i12	2.703	392	349	87	131	698
i13	3.069	446	396	99	149	792
i14	2.964	430	382	96	143	765
i15	3.255	473	420	105	158	840
i16	3.317	482	428	107	161	856
i17	3.447	500	445	111	167	890
i18	3.044	442	393	98	147	786
i19	3.230	469	417	104	156	834
i20	3.127	454	404	101	151	807

$CT_{pr}$ : capacidad del medio de transporte p para transportar el producto r (toneladas)

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
p1	6	1	1	1	1	2
p2	9	1	1	1	1	2
p3	11	2	2	1	1	3

$C_{mr}$ : capacidad del centro de compostaje m para procesar el producto r en el período (Toneladas/año)

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
m1	41.100	0	0	0	0	0

$C_{lr}$ : capacidad del relleno sanitario l para disponer finalmente producto r en el período (Toneladas/año)

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
l1	72.416	10.512	9.344	2.336	3.504	18.688

$D_{nr}$ : demanda de cada cliente del centro de tratamiento n del producto r en el período (toneladas)

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
n1	0	425	380	0	0	0
n2	0	350	460	0	0	0
n3	0	550	270	0	0	0
n4	0	255	350	0	0	0
n5	0	450	430	0	0	0
n6	0	355	255	0	0	0
n7	0	560	330	0	0	0
n8	0	210	640	0	0	0
n9	0	400	390	0	0	0
n10	0	600	290	0	0	0
n11	0	430	320	0	0	0
n12	0	380	410	0	0	0
n13	0	370	520	0	0	0
n14	0	625	255	0	0	0

$D_{or}$ : demanda de cada cliente del centro de compostaje o del producto r en el período.

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
o1	2935	0	0	0	0	0
o2	4550	0	0	0	0	0
o3	3470	0	0	0	0	0
o4	4780	0	0	0	0	0
o5	2550	0	0	0	0	0
o6	1590	0	0	0	0	0
o7	3250	0	0	0	0	0
o8	4820	0	0	0	0	0
o9	2760	0	0	0	0	0
o10	1360	0	0	0	0	0
o11	2590	0	0	0	0	0
o12	3270	0	0	0	0	0

o13	1120	0	0	0	0	0
o14	2055	0	0	0	0	0

$Nv_p$ : cantidad de viajes disponibles en el período para cada medio de transporte p.

Nv1	1
Nv2	4
Nv3	6

$I_r$ : impacto ambiental por producir una unidad nueva del producto r.

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
	Puntos/ton	Puntos/ton	Puntos/ton	Puntos/ton	Puntos/ton	Puntos/ton
$I_r$	1,545E-04	2,971E-04	1,443E-04	2,657E-04	2,951E-04	2,967E-04

$IT_p$ : impacto ambiental por transportar una tonelada-kilómetro en el medio de transporte p.

	p1	p2	p3
	12t	15t	20t
	Puntos/tkm	Puntos/tkm	Puntos/tkm
$IT_p$	1,487E-02	1,577E-02	1,714E-02

$IE$ : impacto ambiental por consumir un kilovatio hora en el sistema.

	Sistema
	Puntos/kW-h
$IE$	2,482E-02

$IP$ : impacto ambiental producido por la infraestructura.

	Sistema
	Puntos/planta
$IP$	1,819E+06

$IA$ : impacto ambiental por consumir un kilogramo de agua en el sistema.

	Sistema
	Puntos/L
$IA$	1,752E-05

$IV_r$ : impacto ambiental por desechar en un vertedero una unidad del producto r, luego de su consumo.

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
	Puntos/ton	Puntos/ton	Puntos/ton	Puntos/ton	Puntos/ton	Puntos/ton
$IV_r$	1,174E-04	1,567E-04	1,153E-04	1,578E-04	1,521E-04	1,423E-04

$Cfe_j$ : consumo eléctrico fijo del sitio de separación j (Kwh)

$Cfe_1$	125
$Cfe_2$	133
$Cfe_3$	128

$Cfe_k$ : consumo eléctrico fijo del centro de tratamiento k (Kwh)

$Cfe_k$	339
---------	-----

$Cfe_m$ : consumo eléctrico fijo del centro de compostaje m (Kwh)

$Cfe_m$	325
---------	-----

$Cfe_l$ : consumo eléctrico fijo del relleno sanitario l (Kwh)

$Cfe_l$	255
---------	-----

$Cve_r$ : consumo variable de electricidad necesaria para procesar una unidad del producto r (Kwh/ton)

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
$Cve_r$	78	83	72	81	84	74

$Cva_r$ : consumo variable de agua necesaria para procesar una unidad del producto r (L/ton)

	r1	r2	r3	r4	r5	r6
	Orgánico	Plástico	Papel y cartón	Vidrio	Chatarra	Residuos sólidos no recuperables
$Cva_r$	25.000	22.000	20.000	23.000	12.000	8.000

$\alpha_k, \sigma_m, \rho_l, \beta_j$ : proporción de la capacidad del centro de tratamiento k, el centro de compostaje m, el relleno sanitario l y el sitio de separación j respectivamente.

$\alpha_k$	0,19
$\sigma_m$	0,19
$\rho_l$	0,26
$\beta_1$	0,12
$\beta_2$	0,12
$\beta_3$	0,12

$d_{ij}^R$ : distancias entre la fuente generadora de residuos sólidos urbanos  $i$  y cada sitio de separación  $j$  (km)

	j1	j2	j3
i1	15	9	14
i2	10	9	9
i3	8	10	9
i4	9	13	7
i5	12	11	8
i6	14	10	7
i7	13	11	7
i8	15	11	14
i9	11	11	13
i10	9	8	13
i11	6	8	11
i12	8	13	12
i13	10	12	12
i14	12	7	8
i15	14	11	14
i16	13	12	11
i17	11	11	14
i18	9	10	9
i19	7	8	12
i20	8	12	10

$d_{jk}^T$ : distancias entre el sitio de separación  $j$  y el centro de tratamiento  $k$  (Km)

	k
j1	15
j2	23
j3	18

$d_{jm}^T$ : distancias entre el sitio de separación  $j$  y el centro de compostaje  $m$  (Km)

	m
j1	28
j2	34
j3	37

$d_{jl}^{DF}$ : distancias entre el sitio de separación j y el relleno sanitario l (Km)

	l
j1	35
j2	37
j3	39

$d_{kn}^{CT}$ : distancias entre el centro de tratamiento k y cada cliente del centro de tratamiento n.

	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10	n11	n12	n13	n14
k	30	47	38	53	45	56	34	47	63	54	48	43	51	39

$d_{mo}^{CC}$ : distancias entre el centro de compostaje m y cada cliente del centro de compostaje o.

	o1	o2	o3	o4	o5	o6	o7	o8	o9	o10	o11	o12	o13	o14
m	39	63	57	43	36	71	59	65	46	52	63	34	52	45

$CVT_p$ : costo variable por tonelada-kilómetro del medio de transporte p, en dólares/tkm.

p1	6
p2	5
p3	3

$CFR_j$ : costo por utilizar el sitio de separación j, en dólares/período.

j1	145,930
j2	146,530
j3	143.840

$CFCT_k$ : costo por utilizar el centro de tratamiento k, en dólares/período.

K	215.430
---	---------

$CFCC_m$ : costo por utilizar el centro de compostaje m, en dólares/período.

M	123.340
---	---------

$CFDF_l$ : costo por utilizar el relleno sanitario l, en dólares/período.

l	237.500
---	---------

$CFC_p$ : costo por utilizar el medio de transporte p, en un viaje en dólares/viaje.

p1	123
p2	142
p3	135

**Anexo 11:** Cuestionario de expertos para validar el modelo matemático desarrollado.

Estimado experto: en consideración a su conocimiento y experiencia ha sido seleccionado para validar el modelo matemático multicriterio desarrollado en la presente investigación para contribuir a la mejora del desempeño de cadenas de suministro de los residuos sólidos urbanos del Cantón Quevedo de Ecuador. Por tal motivo se le solicita que explicita sus ideas y criterios sobre las fortalezas, deficiencias e insuficiencias que presenta el instrumental metodológico, para la gestión estratégica elaborado en su concepción teórica y/o las que pudiera presentar al ser aplicada en la práctica, a partir de valorar los aspectos que se detallan a continuación.

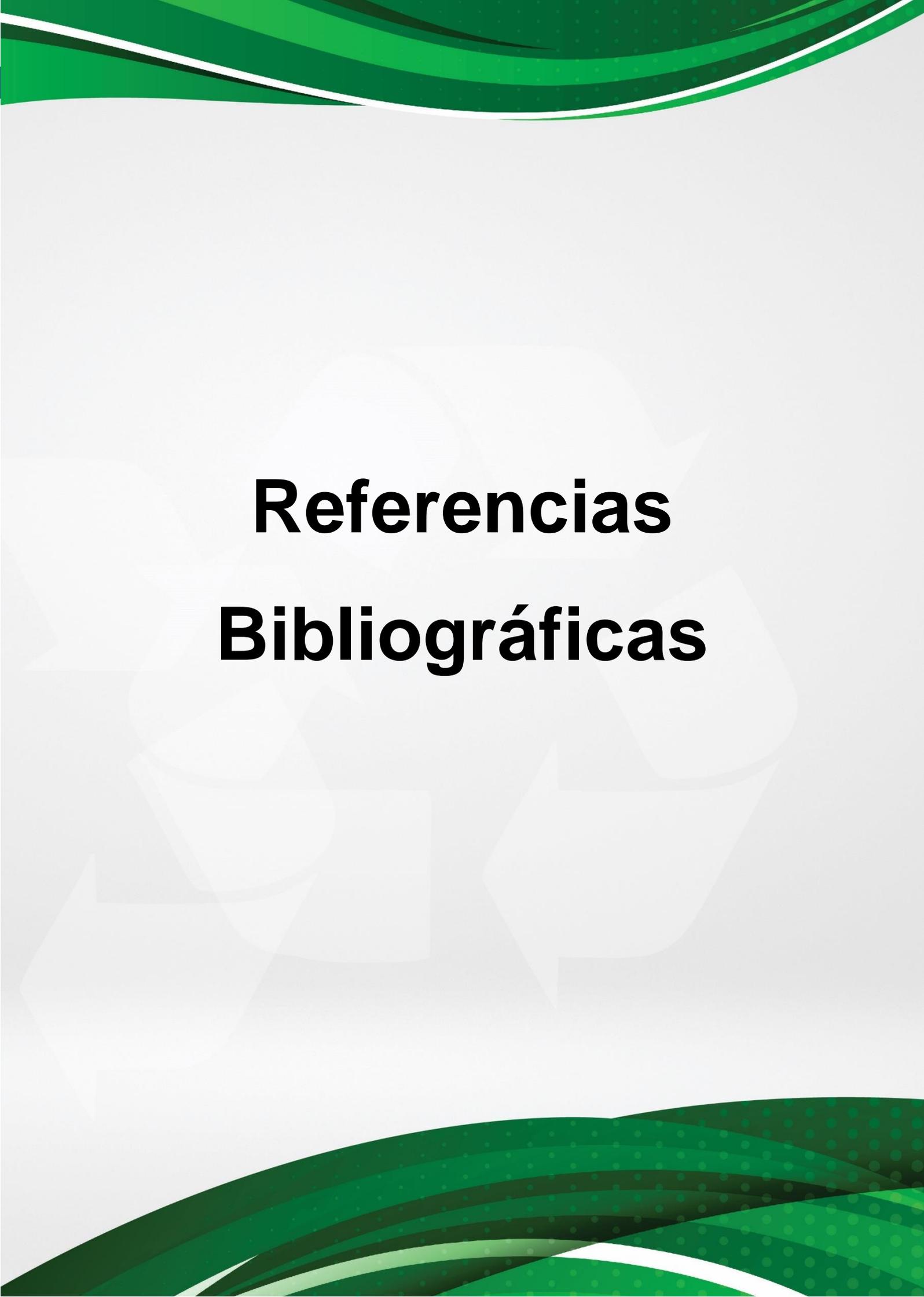
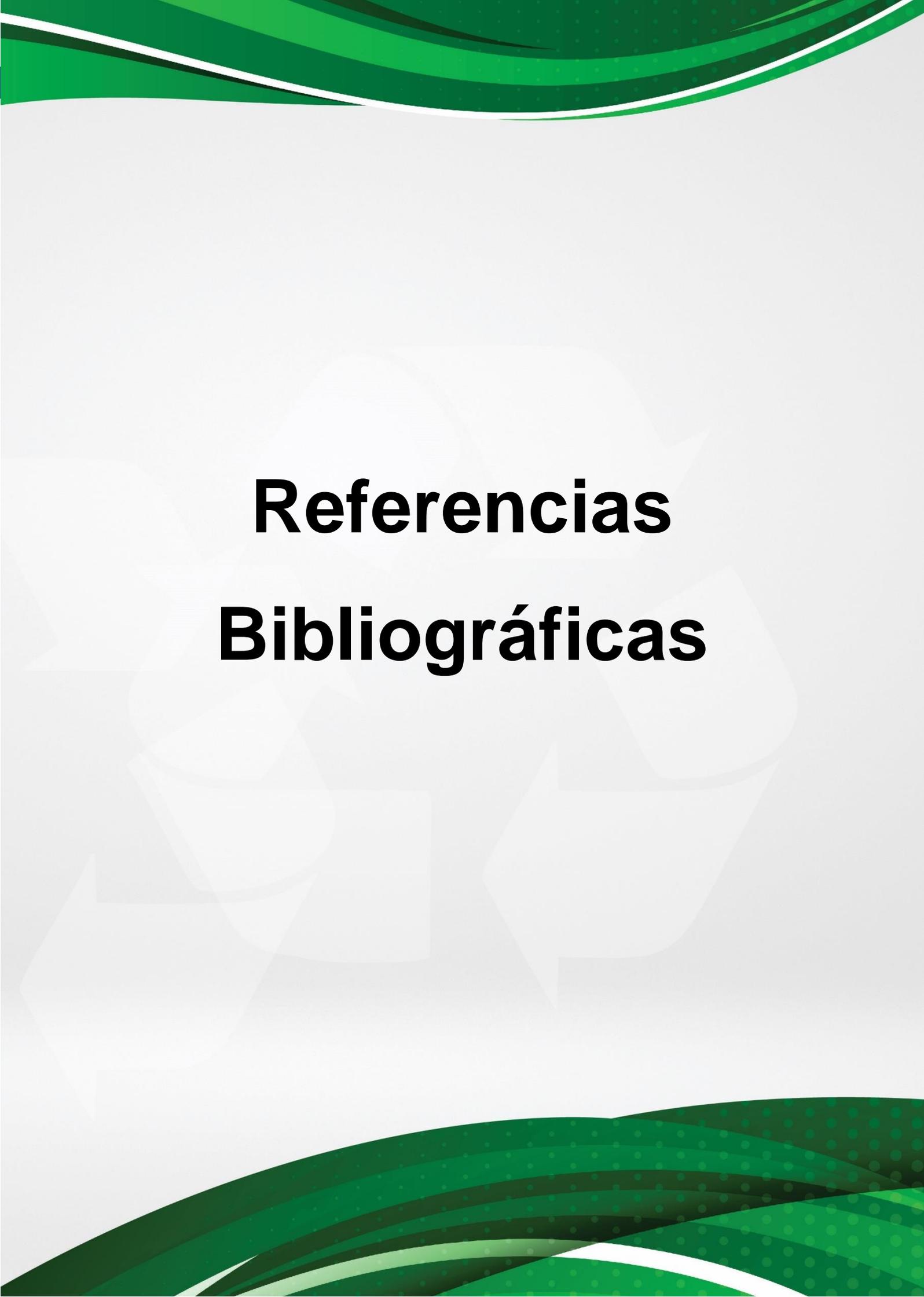
**REFERENCIAS:**

- 5: Muy de acuerdo
- 4: De acuerdo
- 3: Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- 2: En desacuerdo
- 1: Muy en desacuerdo

1. ¿El modelo matemático propuesto involucra todas las variables para la gestión de los residuos sólidos urbanos?
2. ¿El modelo representa la realidad de la gestión de los RSU?
3. ¿Se tiene en cuenta los conceptos técnicos de la gestión de la cadena de suministros?
4. ¿La aplicación del modelo resultaría adecuado al objetivo de fortalecer la capacidad de gestión de la cadena de suministros de los RSU?
5. ¿Existe el reconocimiento de la necesidad de varios datos para modelizar?
6. ¿La modelización presenta e interpreta la información que se ha recopilado?

7. ¿La aplicación del modelo contribuye a mejorar el desempeño de la cadena de suministros de los RSU?
8. ¿Existe una relación entre las funciones objetivo planteadas?
9. ¿Los resultados obtenidos se ajustan a la realidad del Cantón objeto de estudio?
10. ¿El modelo propuesto resultaría sencillo de aplicar en el contexto organizacional de la cadena de suministros de los RSU?
11. ¿El desarrollo del pensamiento estratégico a través de la aplicación del modelo matemático, permitiría un adecuado desarrollo de estrategias de gestión en las cadenas de suministros de los RSU del Ecuador?
12. ¿La implementación del modelo contribuiría al mejoramiento de la posición competitiva de las cadenas de suministros de los RSU del Ecuador?





# **Referencias Bibliográficas**



## Referencias Bibliográficas

- Acar, Z. M. (2016). Revised multi-choice goal programming for incorporated dynamic virtual cellular manufacturing into supply chain management: A case study. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 47, 1-13 ISSN: 0952-1976. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/engappai](http://www.elsevier.com/locate/engappai)
- Achillas et al, C. A. (2012.). A multi-objective decisionmaking model to select waste electrical and electronic equipment transportation media. *Resour. Conserv. Recycl.*, 66, 76–84. ISSN: 0921-3449. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/resconrec](http://www.elsevier.com/locate/resconrec)
- Agrawal, S. S. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76-92. doi: 10.1016/j.resconrec.2015.02.009
- Ahmed, S. C. (2018). Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management. *InTechopen*, 1-10 ISBN 978-1-78923-335-3. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74067>
- Albán, G. (2014). *Estudios Geológicos Mancomunidad Mundo Verde*. Quito: GIZ IS.
- Alcocer- Quinteros, C. O. (2021). Procedimiento para el mejoramiento de la gestión integral mediante sistemas aplicados a la cadena de suministros de los residuos sólidos urbanos. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, 44(76), 188-202 ISSN: 1646-9895. Obtenido de <https://www.proquest.com/openview/ea2f47fce032ad523ca4493e9941de/c4/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Alcocer Quinteros, R. P., & Knudsen González, J. A. (2019). Desempeño integral de los procesos logísticos en una cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, 40(1), 78-87 ISSN 1815-5936. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59362019000100078](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362019000100078)
- Alcocer, Q. R., Cevallos, M. O., & Knudsen, G. J. (2019). Mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el Cantón de Quevedo - Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 11(5), 362-367 ISSN 2218-3620. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202019000500362&script=sci\\_arttext&lng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202019000500362&script=sci_arttext&lng=pt)
- Alcocer, Q. R., Knudsen, G. J., Marrero, D. F., & Miranda, C. B. (2020). Modelo multicriterio para la gestión integral de residuos sólidos urbanos en Quevedo – Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(4), 328-349 ISSN: 2477-9431. Obtenido de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098546989&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=ff5fc85aeebe7541f95e0837c80432ae&sot=a&sdt=a&sl=18>

&s=itemid%282010463177%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=&featureToggles=FEATURE\_NEW\_METRICS\_SECTION:

- Alm, J. (2015). Financing urban infrastructure: knowns, unknowns, and a way forward. *J. Econ. Surv.*, 29(2), 230-262 ISSN en línea: 1467-6419. doi:10.1111/joes.12045
- Ambientum. (24 de Mayo de 2011). *Manejo RS*. Obtenido de Manejo RS: <http://lavidaenelsena.blogdiario.com>
- Appel, D. R. (2020). Economic analysis of a shared municipal solid waste management. *Waste Management*, 823-837. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.033>
- Arango. (2010). Gestión cadena de abastecimiento logística con indicadores bajo incertidumbre, caso aplicado sector panificador Palmira. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20(1), 97-115 ISSN: 0124-8170. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91114807007>
- Arango-Serna, M. V.-S.-M. (2020). Sistema de logística inversa para el desarrollo sostenible de un astillero. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 105-118. Obtenido de [revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias](http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias)
- Asefi, S. L. (2017). A novel multi-dimensional modeling approach to integrated municipal solid waste management. *Clean. Production*, 166, 1131-1143.
- Awazacko, M. (2014). Evaluación de impacto ambiental del modelo actual de gestión de residuos sólidos en Bogotá y análisis multicriterio de alternativas. Bogotá, Colombia.
- Ayeleru, O. O. (2018). Municipal solid waste generation and characterization in the City of Johannesburg: a pathway for the implementation of zero waste. *Waste Management*, 87-97.
- Azevedo, B. S. (2019). Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A case study of Brazil's largest slum. *Journal of Cleaner Production*, 1-30. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.162>
- Aziz, S. O. (2018). Design and study for composting process site. *Eng. Invent.*, 9-18.
- Baldwin, E. (2018). Caracterización espacial y análisis del flujo de residuos residenciales del campus en una pequeña institución privada de artes liberales. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 65, 107-115. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.002>
- Ballaud, H. R. (2004). *Logística Empresarial*. Cleveland, Ohio: Díaz de Santos S.A.
- Banguera, L. S. (2017). Reverse and inverse logistic models for solid waste management. *South African Journal of Industrial Engineering vol.28 n.4*. <http://dx.doi.org/10.7166/28-4-1701>, 28(4), 12-18 ISSN 2224-7890 (en línea) ; ISSN 1012-277X (impresión). doi: <https://doi.org/10.7166/28-4-1701>

- Benedict, B. O. (2018). Analysis of Solid Waste Management Logistics and Its Attendant Challenges in Lagos Metropolis. *Logistics* 2018, 2(2), 11. <https://www.mdpi.com/2305-6290/2/2/11/pdf>, 256-268 ISSN: 2305-6290.
- Bharti, V., & Singh, J. (2017). A Review on Solid Waste Management Methods and Practices in India. *Trends in Biosciences* 10(21), Print : ISSN 0974-8431,, 4065-4067.
- Bonmatí, A. (2008). Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica. En A. Bonmatí, *Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos* (págs. 215-250 ISBN: ISBN: 978-84-96742-37-6). Girona - España: Documenta Universitaria.
- Botello, A. R. (2018). *Journal Cleaning Production*, 182, 485–495. Obtenido de 5. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.065>.
- Botello-Álvarez, J. (2018). Informal collection, recycling and export of valuable waste as transcendent factor in the municipal solid waste management: A Latin-American reality. *Clean Production*, 182, 485–495. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.065>.
- Broche, Y., & Ramos, R. (2015). Procedimiento para la gestión de los residuos sólidos generados en instalaciones hoteleras cubanas. *Ing. Ind. vol.36 no.2 La Habana*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59362015000200011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362015000200011), 1-6 ISSN 1815-5936.
- Broche, Y., & Ramos, R. (2015). Procedimiento para la gestión de los residuos sólidos generados en instalaciones hoteleras cubanas. *Ing. Ind. vol.36 no.2 La Habana*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59362015000200011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362015000200011), 1-6.
- Bueno, G. L. (2015). Comparative LCA of two approaches with different emphasis on energy or material recovery for a Municipal Solid Waste Management System in Gipuzkoa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-27. doi: 10.1016/j.rser.2015.06.021
- Bustos, F. (2015). Reverse logistics as a source of sustainable production. *Actualidad Contable Faces*, 18(30), 7-32.
- Cemberci, M. C. (2015). The Moderator Effect of Global Competitiveness Index on Dimensions of Logistics Performance Index. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 195, 1514-1524.
- Cerda, A. G. (2016). Fermentación mejorada en estado sólido a largo plazo: estrategias de inoculación para la producción de amilasa a partir de residuos de soja y pan por *Thermomyces* sp. en una operación secuencial por lotes. *Revista de Ingeniería Química Ambiental*, 4(2), 2394-2401. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.04.022>
- Cevallos, M. O., Alcocer, Q. R., & Abreu, R. A. (2019). Gestión de la cadena de suministros inversa en electrodomésticos en fin de uso: retos y oportunidades. *Universidad y Sociedad*, 11(4), 450-457 ISSN 2218-3620.

- Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202019000400450](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000400450)
- Cevallos-Chiriboga, G. M. (2015). *Propuesta de mejora para el manejo de desechos sólidos en el centro de la municipalidad de Esmeraldas, Ecuador*. Obtenido de Universidad San Francisco de Quito.
- Cháfer, M. S. (2019). Life cycle assessment (LCA) of a pneumatic municipal waste collection system compared to traditional truck collection. Sensitivity study of the influence of the energy source. *Journal Cleaning Production*, 231, 1122–1135. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.304>.
- Chattopadhyay, P. D. (2018). A comprehensive optimization model for integrated solid waste management system: A case study. *Environment Engineering*, 24, 220-237. Obtenido de <https://doi.org/10.4491/eeer.2018.132>.
- Cheku, N. I. (2019). Faktor penentu amalan kitar semula generasi Y di Terengganu. *Sains Humanika*, 9, 1-15. Obtenido de <https://doi.org/10.11113/sh.v9n3.1045>
- Chen, (2010). An overview of municipal solid waste management in China. *Waste Management: 30*, 30(4), 716-724 ISSN: 0956-053X. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.011>
- Ciccullo, F. P. (2017). Integrating the environmental and social sustainability pillars into the lean and agile supply chain management paradigms: A literature review and future research directions. *Journal Clean Production*, 172, 2336-2350. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.176>.
- CITES. (15 de Septiembre de 2018). *Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres*. Obtenido de Recuperado: <http://www.wcmc.org.uk/CITES/common>.
- Coelho, G. L. (2018). Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil. *Resour. Ressorurs Conservation. Recyclaje.*, 438-450. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.026>
- Constitución del Ecuador. (2013). Constitución de la República del Ecuador. *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi, Manabí, Ecuador: Gobierno Constitucional del Ecuador.
- Couto, I. H. (2012). Participación y rendimiento de la iniciativa privada en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en la frontera México-Estados Unidos. *Gestión y Política Pública*, 21(1), 1079-1405 ISSN 1405-1079. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v21n1/v21n1a7.pdf>
- Daya et al, S. P. (2016). Artificial neural network based modelling approach for municipal solid waste gasification in a fluidized bed reactor. *Waste Management*, 58, 202-213 ISSN: 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.023>

- Del Valle, G. (2005). *La Gestión Integral Sustentable de residuos sólidos urbanos: Diagnóstico y evaluación para la ciudad de Saltillo, Coahuila*. México, D.F.: El Colegio de México.
- Deus, B. R. (2017). Scenario evaluation for the management of household solid waste in small Brazilian municipalities. *Clean Technol. Environ. Policy*, 19, 205-214 ISSN: 1618-9558. doi:10.1007/s10098-016-1205-0
- Deus. (2019). Solid waste indicators and their implications for management practice. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 1129-1144 ISSN electrónico: 1735-2630. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2163-3>
- Domski Chiriboga, P. S. (18 de Diciembre de 2017). Optimización de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en el Centro de Reciclaje Fabricio Valverde - Isla Santa Cruz, Galápagos. *Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Industrial*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.
- Dong, J. C. (2016). Effect of operating parameters and moisture content on municipal solid waste pyrolysis and gasification. *Energy fuel*(22), 1299-1317.
- Duarte, B. S. (2019). Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A case study of Brazil's largest slum. *Journal of Cleaner Production*, 1377-1386. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.162>
- Ezequiel et al, S. A.-G.-H. (2013). Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. *Waste Management*, 33(12), 2607-2622 ISSN: 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.08.010>
- Faulder, L. I. (2018). Managing anaerobic digestate from food waste in the urban environment: evaluating the feasibility from an interdisciplinary perspective. *J. Clean. Prod.*, 1-40 ISSN: 0959-6526. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.045
- Feitó Cespón, M. (2015). Modelo multiobjetivo para el diseño de cadenas de suministro sostenibles de reciclaje, bajo condiciones de incertidumbre. Aplicación a la recuperación de plásticos en Cuba. *Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas*. Santa Clara, Santa Clara, Cuba: Universidad Central de las Villas.
- Feniél, P. (2019). Generación de residuos sólidos domésticos y características en la ciudad de Cabo Haitiano, República de Haití. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 54(2), 73-78. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.06.009>
- Fernández, G. (2017). Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities. *Waste Management*, 67, 360-374 ISSN: 0956-053X. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/319748972\\_Economic\\_and\\_environmental\\_review\\_of\\_Waste-to-](https://www.researchgate.net/publication/319748972_Economic_and_environmental_review_of_Waste-to-)

Energy\_systems\_for\_municipal\_solid\_waste\_management\_in\_medium\_and\_small\_municipalities#fullTextFileContent

- Ferreira et al, F. (2017). Assessment strategies for municipal selective waste collection schemes. *Waste Management*, 3-13 ISSN: 0956-053X. doi: 10.1016/j.wasman.2016.10.044
- Ferreira, F. C. (2016). Evaluación de estrategias para sistemas de recogida selectiva de residuos sólidos municipales. *Gestión de residuos*, 1-11.
- Fiorentino, G. R. (2017). The relevance of site-specific data in Life Cycle Assessment (LCA). The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 445-460. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.149>
- Francis, C. B. (2017). Analytical method of waste allocation in waste management systems: Concept, method and case study. *Environmental Impact Assessment Review*, 62, 35-48 ISSN: 0195-9255. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.10.001>
- Gallardo, M. C. (2015). Methodology to design a municipal solid waste pre-collection systems. A case study. *Waste Management*, 1-11.
- Gamberini, R. D. (2013). Municipal solid waste management: Identification and analysis of. *Waste Management*, 33(11), 2532-2540 ISSN: 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.06.003>
- García-García, J. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Metodología de investigación en educación medic*, 2(8), 217-224.
- García-Pèrez, J. (2015). Caracterización de los residuos sólidos ordinarios presentes en el área de interés paisajístico Alosnos Vera (Girardot, Cundinamarca) y sus posibles implicaciones ambientales. *Luna Azul* (40), 213-223 ISSN 1909-2474.
- Gautam, L. M. (2015). Material flow analysis and awareness on E-waste management. Malaysian. *Journal of Civil Engineering*, 27(2), 275-289.
- Geng et al, Y. T. (2010). Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: a case study of Kawasaki. *Journal of Cleaner Production*, 18(10-11), 993-1000 ISSN: 0959-6526. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.03.003>
- Gengyuan et al, L. L. (2016). An emergy-LCA analysis of municipal solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 131-143 ISSN: 0921-3449. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.003>
- Genovese et al, A. A. (2016). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, 66 Parte B, 344-357 ISSN: 0305-0483. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>

- Ghosh, B. D. (2018). Sustainability analysis of organic fraction of municipal solid waste conversion techniques for efficient resource recovery in India through case studies. *Mater. Cycles Waste Management*, 296, 1969-1985.
- Glykas, M. (2011). Effort based performance measurement in business process management. *Knowledge and Process Management*; 18(1). 10.1002/kpm.364, 18(1), 10-33 ISSN en línea: 1099-1441. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/kpm.364>
- Grosso, M. A. (2010). Efficiency of energy recovery from waste incineration in the light of the new Waste Framework Directive. *Waste Management*, 30(7), 1238-1243 ISSN: 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.036>
- Guerrero, G. N. (2010). Análisis de la situación de la gestión de residuos en países en vías de desarrollo. *Proyecto de Especialista*. Barcelona, Catalunya, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Gupta, K. (2015). A review on current status of municipal solid waste management in India. *Environment Sci.*, 206-217.
- Gupta. (2015). A review on current status of municipal solid waste management in India. *Journal Environment Sciences*, 206–217. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.01.034>
- Gutiérrez, Y. S. (2018). Diseño de un Modelo de Gestión de Riesgos basado en ISO 31.000:2012 para los Procesos de Docencia de Pregrado en una Universidad Chilena. *Formación Universitaria*, 11(4), 15-32. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062018000400015>
- Guzmán Chávez, M. M. (2012). El manejo de los residuos sólidos municipales: un enfoque antropológico. El caso de San Luis Potosí, México. *Estudios Sociales*, 20(39), 235-262 ISSN 0188-4557. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-45572012000100009&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-45572012000100009&script=sci_abstract&tlng=en)
- Hae, Y. G. (2016). Mathematical Models for Supply Chain Management. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-4 ISSN: 1563-5147. Obtenido de <https://doi.org/10.1155/2016/6167290>
- Halkos, G. P. (2016). Spatial environmental efficiency indicators in. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(1), 62-78 ISSN: 0964-0568. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2014.983592>
- Haro, T. G. (9 de Agosto de 2015). Modelo administrativo para realizar la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Metropolitano de Quito. *Proyecto previo a la obtención del título de Magíster en Gestión Empresarial*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Harris, S. L. (2019). A mixed-methods approach to strategic planning for multi-benefit regional water infrastructure. *Environment Management*, 218-237.
- Harvey, P. (2012). Políticas de la materia y residuos sólidos: descentralización y sistemas integrados. *Anthropologica*, 254-260 ISBN: 9780203093610.

- Hernández-Nariño, A. (2010). Contribución a la gestión y mejora de procesos en instalaciones hospitalarias. *Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas*, 50-60.
- Hurtado de Mendoza, F. (2010). *Cómo seleccionar los expertos*. La Habana: F.S. Editores.
- Hussein, I. A. (2018). Residuos sólidos: fuentes, composición, disposición, reciclaje y valorización. *Revista egipcia del petróleo*, 1275-1290. doi: doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003
- Ibañez, V. B. (2019). Assessing the social performance of municipal solid waste management systems in developing countries proposal of indicators and a case study. *Ecol. Indc.* 98, 164-178.
- Ibrahimoglu, B. C. (2017). Numerical modeling of a downdraft plasma gasification reactor. *Revista Internacional de Energía del Hidrógeno*, 42(4), 2583-2591. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.224>
- INEC. (2013). *Censo de Información Ambiental Económica en Gobiernos*. Quito: INEC.
- Islam, R. R. (2012.). An ant colony optimization algorithm for waste collection vehicle routing with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities. *In: International Conference on Informatics, Electronics Vision (ICIEV)*, 774-779 ISBN electrónico: 978-1-4673-1154-0. doi:10.1109/ICIEV.2012.6317421
- Jaafar, I. (2018). Waste generation and characteristization: case study of seberang takir. *Malaysia*, 1-19.
- Jara Samaniego, J. (2016). Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. *Journal of Cleaner Production*, 1-41. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.178
- Jaunich, J. L. (2016). Lifecycle Process Model for Municipal Solid Waste Collection. *Environment Engeenering*, 142(8), 1-11. Obtenido de [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001065](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001065).
- Jiang, P. F. (2020). Data-driven analytical framework for waste-dumping behaviour analysis to facilitate policy regulations. *Waste Management*, 103, 285-295. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.041>.
- Jin, H. Z. (2020). Pricing decisions about waste recycling from the perspective of industrial symbiosis in an industrial park: A game model and its application. *Clean Production*, 251, 119-127. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019>.
- Joshi, S. A. (2016). Status and challenges of municipal solid waste management in India. *Cogent. Enviroment*, 113-124.
- Jouni, H. (2017). Environmental impact assessment of municipal solid waste. *Journal of Cleaner Production*, 141, 453-461 ISSN : 0959-6526. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.146>

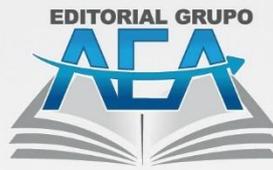
- Kanat, G. (2010). Municipal solid-waste management in Istanbul. *Waste Management*, 30(8-9), 1737–1745 ISSN : 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.036>
- Khanal, S. V. (2020). Waste-to-resources: opportunities and challenges. *Bioresour. Technology*, 317, 123-137. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123987>
- Khandelwal, H. D. (2019). Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: a worldwide critical review. *Journal of Cleaner Production*, 209, 630–654. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.233>
- Khanh et al, N. T.-N.-T.-H. (2017). Optimization of municipal solid waste transportation by integrating GIS. *Waste Management*, 59, 14-22 ISSN : 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.048>
- Kinobe, J. G. (2015). Sistema de logística inversa y potencial de reciclaje en un vertedero: Un caso de estudio de la ciudad de Kampala. *Gestión de residuos*, 42, 82–92.
- Knickmeyer, D. (2019). Factores sociales que influyen en la separación de residuos domésticos: una revisión de la literatura sobre buenas prácticas para mejorar el desempeño del reciclaje en áreas urbanas. *Revista de producción más limpia*, 245, 1-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118605>
- Knudsen-González, J. (2005). Diseño y gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Aplicación a los residuos agrícolas cañeros, el bagazo y las mieles. *TESIS EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTOR*. Santa Clara, Cuba: Universidad Central de las Villas.
- Ko, S. K. (2020). The economic value of sustainable recycling and waste management policies: The case of a waste management crisis in South Korea. *Waste Management*, 104, 220–227. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.020>.
- Kolios, A. M.-M. (2016). A comparative study of multiplecriteria criteria methods under stochastic inputs. *Energies*, 352-367 ISSN: 1996-1073. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/en9070566>
- Kolmis, D. C. (2012). A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming. *Resources, Conservation and Recycling*, 60, 89-98 ISSN: 0921-3449. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.12.004>
- Krista, L. G. (2014). Quantitative assessments of municipal waste management systems: *Waste Management*, 34(4), 825-836 ISSN: 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.020>
- Kumar. (2020). Numerical modeling of coupled biochemical and thermal behavior of municipal waste in landfills. *Comput. Geotech.*, 103-126.

- Latifah, A. (2018). *Malaysian Journal of Society and Space*, 14(1), 27-41. Obtenido de <https://doi.org/10.17576/geo-2018-1404-03>.
- Latifah. (2021). Exploring the Municipal Solid Waste Management via MFA-SAA Approach in Terengganu, Malaysia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1-11. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100144>
- Lee, C. Y. (2016). Un modelo matemático para la gestión de residuos sólidos municipales - Un estudio de caso en Hong Kong. *Waste Management*, 430-441.
- Lee. (2016). A mathematical model for municipal solid waste management: A case study in Hong Kong. *Waste Management*, 58, 430-441 ISSN: 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.017>
- Libro rojo de mamíferos del Ecuador. (13 de Septiembre de 2011). *Listado de mamíferos en el Ecuador*. Obtenido de <http://www.librorojo.mamiferosdeecuador.com/index.php>.
- Libro rojo de plantas endémicas del Ecuador. (14 de Septiembre de 2015). *Listado de plantas endémicas del Ecuador*. Obtenido de <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/home>
- Lissabet, R. J. (1998). La utilización del método de evaluación de expertos en la valoración de los resultados de las investigaciones educativas. *Universidad Pedagógica Blas Roca Calderio, Granma Cuba*, 1-15.
- Lista Roja, U. (17 de Septiembre de 2018). *UICN Red List Categories*. Obtenido de UICN Species Survival Comisión. 51. Meeting of the UICN Council. Suiza: <http://www.uicn.org/es/sobre/>
- Liu, J. H. (2012.). Ant colony algorithm for waste collection vehicle arc routing problem with turn constraints. *Eighth International Conference on Computational Intelligence and Security*, 35–39. ISBN: 978-1-4673-4725-9. doi:10.1109/CIS.2012.16
- Lizarzaburu, E. B. (2019). Gestión Integral de Riesgos y Antisoborno: Un enfoque operacional desde la perspectiva iso 31000 e iso 37001. *Universidad & Empresa*, 21(36), 79-118. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.6089>
- Lohri, C. (2014). Financial sustainability in municipal solid waste management – Costs and revenues in Bahir Dar. *Ethiopia, Waste Management: 34(2)*, 34(2), 542-552 ISSN: 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.014>
- Lokesh, K. V. (2020). Status and challenges of solid waste management in Tirupati city. *Materials Today: Proceedings*, 1-5. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.044>
- Lou, L. K. (2021). Optimization of water replacement during leachate recirculation for two-phase food waste anaerobic digestion system with off-gas diversion, *Bioresour. Technol.* 335, 125-134.
- Maciel, T., Stumpf, M., & Kern, A. (2016). Management system proposal for planning and controlling construction waste. *Revista Ingeniería de*

- Construcción RIC.*, 31(2), 105-116 ISSN: 0718-5073. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v31n2/art04.pdf>
- Mahmuda et al, A. M. (2017). Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization. *Waste Management*, 61, 117-128 ISSN: 0956-053X. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.022>
- Mancomunidad Mundo Verde. (2014-2016). *I Foro de intercambio de experiencias*. Obtenido de <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2016/10/7.-Mancomunidad-Mundo-Verde.pdf>
- Marino et al, A. L. (2018). Do Brazilian municipalities have the technical capacity to implement solid waste management at the local level? *Journal of Cleaner Production*, 188, 378-386 ISSN: 0959-6526. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.311>
- Mehmet, M. s. (2015). Fermentación en estado sólido de piezas de pan de desecho por *Aspergillus awamori*: Análisis de los efectos de la tasa de flujo de aire en la producción de enzimas en biorreactores de lecho envasado. *Procesamiento de alimentos y bioproductos*, 63-75. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.03.011>
- Mehmeti, G. (2017). A Literature Review On Supply Chain Management Evolution. *14th International Scientific Conference on Economic and Social Development, At Belgrade*, 52-59.
- Melika et al, M. M. (2020). Municipal solid waste management with cost minimization and emission control objectives: A case study of Ankara. *Sustainable Cities and Society*, 52, 1-15 ISSN: 2210-6707. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101807>
- Mesjasz, A. (2018). Reverse logistics of municipal solid waste-towards zero waste cities. *Transportation Research Procedia*, 39, 320-332. Obtenido de <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Meza, T. (2018). *Estudio Medio Biótico Mancomunidad Mundo Verde*. Quito: GIZ IS.
- Mighua, Z. (2019). Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. *Waste Management*, 29(3), 1227-1233. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.07.016>
- Mohammad, S. Z. (2011). Implementation of decision support system for scheduled waste management in Malaysia. *Appl. Sci.*, 2358-2363. Obtenido de <https://doi.org/10.3923/jas.2011.2358.2363>.
- Mohammadi, M. (2019). Sustainable supply chain network design for the optimal utilization of municipal solid waste. *AICChE*, 55-65. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/aic.16464>
- Mohan, S. V. (2020). Circular bioeconomy approaches for sustainability, Bioresour. *Technology*, 318, 124-138. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124084>.

- Morejón-Borjas. (2012). Tecnología para la gestión de la propiedad intelectual en la empresa estatal cubana. Aplicación en organizaciones empresariales de la provincia Holguín. *Tesis Doctoral*. La Habana, Cuba: Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.
- Movahedi, B., Lavassani, K., & Kumar, V. (2016). "Transition to B2B e-Market place Enabled Supply Chain: Readiness Assessment and Success Factors. *The International Journal of Technology, Knowledge and Society*, 5 (3). <https://pdfs.semanticscholar.org/f1ca/972b3f0add8e4041b71d13e9fa6649cc092a.pdf>, 75-88.
- Moya, D. A. (2017). Waste-To-Energy Technologies: an opportunity of energy recovery from Municipal Solid Waste, using Quito - Ecuador as case study. *Energy Procedia*, 327–336. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.537
- Mukete, B. S. (2017). Perspectives of Remote Sensing and GIS Applications in Tropical Forest Management. *American Journal of Agriculture and Forestry*, 5(3), 33-39 ISSN: 2330-8583 (Print); ISSN: 2330-8591 (Online). Obtenido de <https://www.sciencepublishinggroup.com/j/ajaf>
- Mulala, D. D. (2017). From informality to formality: Perspectives on the challenges of integrating solid waste management into the urban development and planning policy in Johannesburg, South Africa. *Habitat International*, 63, 122-130. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.03.018>
- Mungía-López. (2020). Optimization of municipal solid waste management using a coordinated framework. *Waste Management*, 115, 15-24. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.006>
- Municipalidad de Quevedo. (2018). *Ordenanza de prevención y control de la contaminación ambiental del Cantón Quevedo*.
- Nam, P. T. (2018). Understanding the stakeholders' involvement n utilizing municipal solid waste in agriculture through composting: a case study of Hanoi, Vietnam. *Sustainability*, 10(7), 1-32. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su10072314>.
- Nandi, K. K. (2020). Areview on various techniques for municipality waste management & product development. *Materials Today: Proceedings*, 1-7. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.747>
- Ngo, Y. C. (2021). Sistemas integrados basados en biomembranas para la recuperación de nitrógeno en el tratamiento de aguas residuales: aplicaciones actuales y perspectivas futuras. *Quimiosfera*, 265, 129.136. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129076>
- Nur, R. N. (2021). Establishment of Material Flow Analysis (MFA) for heavy metals in a wastewater system. *Ain Shams. Engineering Journal*, 1407–1418. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.10.009>.
- Nuradibah, H. (2016). Development of solid waste management pelan in Kuala Nerus. *Universiti Malasysia Pahang*, 1-15.

Okot-Okumu. (2011). Municipal solid waste management under descentralisation in Uganda. *Habitat International*, 35(4), 537-543 ISSN: 0197-3975. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2011.03.003>



# RESUMEN

En la presente investigación se elabora un procedimiento general y sus específicos cuyo objetivo es contribuir a mejorar el desempeño de la gestión integral de la cadena de suministro de los residuos sólidos urbanos en cantones del Ecuador. El procedimiento propuesto resuelve las insuficiencias de las herramientas precedentes analizadas en la construcción del marco teórico referencial, al incluir un modelo multicriterio y tener un enfoque sistémico de mejoramiento continuo basado en procesos. La investigación comienza con la caracterización de la cadena objeto de estudio y la identificación de los indicadores al incluir en el diagnóstico desde una perspectiva de sostenibilidad. Al mismo tiempo, se propone un indicador de desempeño integral para evaluar la cadena de suministro, junto con las escalas pertinentes para cada uno de estos indicadores y el desempeño de la cadena de suministro de los residuos sólidos urbanos. Los resultados obtenidos permitieron el diagnóstico del nivel de desempeño en que se encuentra la gestión de residuos sólidos urbanos, y en consecuencia proyectar, mediante un modelo matemático multicriterio, las políticas para el mejoramiento gradual de dicha gestión. En el caso de la cadena de suministro de los residuos sólidos urbanos del Cantón Quevedo de Ecuador permitió la identificación de oportunidades de mejoras basadas en los problemas detectados. Además, se comprobó la hipótesis general de investigación planteada al evidenciar una mejora en el índice de desempeño de la cadena objeto de estudio después de aplicar un conjunto de mejoras.

**Palabras Clave:** Cadenas de suministro, procesos, proceso analítico sistémico, indicador integral

## Abstract

In the present research, a general and its specific procedures are elaborated, whose objective is to contribute to improving the performance of the integral management of the supply chain of urban solid waste in cantons of Ecuador. The proposed procedure solves the insufficiencies of the previous tools analyzed in the construction of the referential theoretical framework, by including a multi-criteria model and having a systemic approach to continuous improvement based on processes. The research begins with the characterization of the chain under study and the identification of the indicators to be included in the diagnosis from a sustainability perspective. At the same time, a comprehensive performance indicator is proposed to assess the supply chain, along with the relevant scales for each of these indicators and the performance of the municipal solid waste supply chain. The results obtained allowed the diagnosis of the level of performance in which the management of urban solid waste is found, and consequently to project, through a multi-criteria mathematical model, the policies for the gradual improvement of said management. In the case of the urban solid waste supply chain of the Quevedo Canton of Ecuador, it allowed the identification of improvement opportunities based on the problems detected. In addition, the general research hypothesis proposed was verified by evidencing an improvement in the performance index of the chain under study after applying a set of improvements.

**Keywords:** Supply chains, processes, systemic analytical process, integrated indicator



<http://www.editorialgrupo-aea.com>



[Editorial Grupo AeA](#)



[editorialgrupoaea](#)



[Editorial Grupo AEA](#)

ISBN: 978-9942-651-35-8



9 789942 651358