

PROPUESTA PARA LA LOCALIZACIÓN DE LOS CONTENEDORES DE
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA PLAZA DE MERCADO LA ESMERALDA
Y EN SUS ALREDEDORES MEDIANTE LA METODOLOGÍA ANP: UN ENFOQUE
BASADO EN ACCESIBILIDAD Y NORMATIVIDAD AMBIENTAL



LAURA ISABEL GUYUMÚS BORRERO
BRAYAN ALEJANDRO ROSERO JIMENEZ

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA “UNICOMFACAUCA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
POPAYÁN, CAUCA
2023

PROPUESTA PARA LA LOCALIZACIÓN DE LOS CONTENEDORES DE
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA PLAZA DE MERCADO LA ESMERALDA
Y EN SUS ALREDEDORES MEDIANTE LA METODOLOGÍA ANP, UN ENFOQUE
BASADO EN ACCESIBILIDAD Y NORMATIVIDAD AMBIENTAL

LAURA ISABEL GUYUMÚS BORRERO
BRAYAN ALEJANDRO ROSERO JIMÉNEZ

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR: JHON ALEXANDER SEGURA DORADO
CODIRECTORA: ZULY YULIANA DELGADO ESPINOSA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA “UNICOMFACAUCA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
POPAYÁN, CAUCA
2023

Nota de aceptación. Una vez revisado el informe final y aprobada la sustentación del trabajo titulado “PROPUESTA PARA LA LOCALIZACIÓN DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA PLAZA DE MERCADO LA ESMERALDA Y EN SUS ALREDEDORES MEDIANTE LA METODOLOGÍA ANP, UN ENFOQUE BASADO EN ACCESIBILIDAD Y NORMATIVIDAD AMBIENTAL” realizado por los estudiantes Brayan Alejandro Rosero Jiménez y Laura Isabel Guyumus Borrero, el director y los jurados autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar al título como Ingeniero Industrial, de acuerdo con el reglamento interno.

Director

Presidente del jurado

Jurado

DEDICATORIA

Autor. Laura Isabel Guyumús Borrero

Estamos en este lugar y ahora no por un capricho del destino, ni tampoco por cosas del azar, ni de la suerte, estamos aquí como resultado de la planificación de un proyecto de vida, de perseguir incansablemente un sueño, pero por sobre todo estamos aquí gracias a la bendición del Altísimo, a su amor infinito. A mi madre le doy gracias por sus sabios consejos, sus oraciones y esa forma tierna y única de guiar mis pasos. A mi papá, ese amigo incondicional que trabajó incansablemente por darme su apoyo y su respaldo, un ejemplo de guerrero. A mi hermanita quien a pesar de su corta edad ha sido la luz en mis momentos oscuros con ternura, su amor y sus incontables travesuras. Agradezco a toda mi familia porque me han extendido su mano generosa y su corazón para darme esa palabra de ánimo y ese abrazo reconfortante en los momentos difíciles que se han presentado a lo largo del camino que nos ha conducido hasta aquí.

Autor. Brayan Alejandro Rosero Jiménez

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme permitido alcanzar este punto en mi vida académica, por otorgarme la salud y la inteligencia necesaria para enfrentar cada desafío. A mi madre, pilar fundamental en mi carrera, cuyo amor, comprensión y aliento constante han sido invaluable a lo largo de estos años. A mi padre, quien ha sido un soporte crucial en mi camino académico, trabajando incansablemente con esfuerzo y sacrificio para ayudarme a alcanzar esta meta, a mi hermana por ser mi confidente en cada momento, brindándome su compañía y apoyo incondicional. A mi pareja, por ser una persona incondicional y por su presencia constante, acompañándome tanto en los momentos buenos como en los desafiantes de este trayecto. Dedico también este logro a toda mi familia por siempre estar presentes en este camino, por nunca dejarme solo y siempre brindarme su apoyo. Finalmente, dedico este logro a mi hijo, mi fuente de inspiración y motor para seguir avanzando, su presencia en mi vida me impulsa a buscar más logros y a continuar esforzándome en este camino académico y en todos los aspectos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento al docente Jhon Segura, quien desempeñó el rol como director de la tesis. Su dedicación y paciencia fueron fundamentales durante todo el proceso. También agradecemos a la doctora Zuly Delgado codirectora de nuestra tesis, cuyo conocimiento y apoyo contribuyeron significativamente a la mejora y finalización del proyecto. Además, extendemos nuestro reconocimiento al profesor Carlos Rodríguez, cuyo compromiso y colaboración fueron clave para el desarrollo y perfeccionamiento del trabajo.

A todos nuestros profesores que han sido parte fundamental de nuestro viaje universitario, les expresamos nuestro más sincero agradecimiento. Reconocemos profundamente su dedicación al impartirnos los conocimientos esenciales que nos han guiado hasta este momento.

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INDICE DE TABLAS..... | 11 |
| RESUMEN | 13 |
| ABSTRACT | 14 |
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1.1 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 17 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN | 22 |
| 1.3 OBJETIVOS | 23 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 23 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 23 |
| 1.3.3 Metodología..... | 23 |
| CAPITULO 1. GENERALIDADES | 27 |
| 2. MARCO DE REFERENCIA | 27 |
| 2.1 ESTADO DEL ARTE..... | 27 |
| 2.2 MARCO NORMATIVO | 30 |
| 2.3 RESIDUOS SÓLIDOS | 37 |
| 2.3.1 Residuos sólidos urbanos | 38 |
| 2.3.2 Implicaciones económicas de los residuos sólidos | 41 |
| 2.3.3 Residuos sólidos: Salud y medio ambiente | 42 |
| 2.3.4 Residuos sólidos y desarrollo sostenible..... | 43 |
| 2.4 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS | 43 |
| 2.4.1 Sistemas de recolección | 43 |
| 2.4.2 Equipos de recolección y transporte | 45 |
| 2.4.3 Contenedores..... | 46 |
| 2.5 LOCALIZACIÓN Y TOMA DE DECISIÓN..... | 49 |
| 2.6 ANALYTIC NETWORK PROCESS (ANP)..... | 52 |
| 2.6.1 Ventajas de Analytic Network Process (ANP) | 55 |
| 2.7 SOFTWARE SUPERDECISIONS..... | 56 |
| CAPITULO 2. PUESTA EN MARCHA..... | 57 |
| 3. DESARROLLO Y RESULTADOS | 57 |

| | |
|---|-----|
| 3.1 PARTE I: IDENTIFICAR LAS ÁREAS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PLAZA DE MERCADO LA ESMERALDA Y ANALIZAR LA DEMANDA DE CONTENEDORES EN CADA ZONA | 57 |
| 3.1.1 Caracterización barrio La Esmeralda | 57 |
| 3.1.2 Caracterización del servicio de recolección | 61 |
| 3.1.3 Identificación de las áreas con mayor generación de residuos sólidos en la plaza de mercado La Esmeralda y sus alrededores..... | 73 |
| 3.2 PARTE II: SELECCIONAR LOS CRITERIOS PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS SÓLIDOS | 75 |
| 3.3 PARTE III: DESARROLLAR UNA MODELO MULTICRITERIO BASADO EN ANP PARA TOMAR DECISIONES SOBRE LA UBICACIÓN DE LOS CONTENEDORES..... | 86 |
| 3.4 PARTE IV: EVALUAR EL MODELO MULTICRITERIO CONSIDERANDO CRITERIOS, SUBCRITERIOS Y ALTERNATIVAS, ASI COMO TAMBIÉN ANÁLISI AMBIENTAL..... | 107 |
| 3.4.1 Análisis ambiental | 142 |
| CAPITULO 3. CONCLUSIONES Y RECOMENTACIONES..... | 155 |
| 4.1 CONCLUSIONES | 155 |
| 4.2 RECOMENDACIONES | 157 |
| ANEXOS | 158 |
| BIBLIOGRAFÍA | 161 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|------------------------------|
| Ilustración 1. Instrumentos Normativos y de Planeación de la Gestión de Residuos | 18 |
| Ilustración 2. Oferta de residuos y productos residuales según origen Toneladas, porcentaje (%) y puntos porcentuales (pp) Total nacional. | 19 |
| Ilustración 3. Participación de municipios por departamentos | 19 |
| Ilustración 4. Diseño de metodología | 24 |
| Ilustración 5. Características ANP | 25 |
| Ilustración 6. Etapas gestión de residuos | 39 |
| Ilustración 7. Esquema general del Plan de Gestión Integral de Residuos .. | 40 |
| Ilustración 8. Sistemas de un soterrado | 48 |
| Ilustración 9. Anatomía de un soterrado | 48 |
| Ilustración 10. Etapas en el proceso de decisiones | 50 |
| Ilustración 11. Relación entre elementos en ANP en la estructura jerárquica ANP | 53 |
| Ilustración 12. Estructura ANP | 55 |
| Ilustración 13. Comuna 8 | 57 |
| Ilustración 14. Número de establecimiento por actividades económicas | 58 |
| Ilustración 15. Ingresos anuales de los micronegocios por actividad económica | 60 |
| Ilustración 16. Proporción de la población ocupada informal según ciudades Total nacional | 60 |
| Ilustración 17. Mapa rutas de prestación de servicios | 62 |
| Ilustración 18. Punto 1 | 73 |
| Ilustración 19. Punto 2 | Error! Bookmark not defined. |
| Ilustración 20. Punto 3 | 74 |
| Ilustración 21. Punto 4 | 74 |
| Ilustración 22. Punto 5 | 75 |
| Ilustración 23. Punto 6 | 75 |
| Ilustración 24. Contenedores soterrados Hidráulicos | 77 |
| Ilustración 25. Medidas contenedor soterrado | 77 |
| Ilustración 26. Calles, Popayán Cauca | 84 |
| Ilustración 27. Establecimientos zona de estudio | 84 |
| Ilustración 28. Alternativas ubicación de contenedores | 85 |
| Ilustración 29. Esquema ANP | 86 |
| Ilustración 30. Diagrama ANP SuperDecisiones | 88 |
| Ilustración 31. Ejemplo ANP | 90 |
| Ilustración 32. Construcción supermatriz original | 94 |
| Ilustración 33. Escala Saaty | 95 |
| Ilustración 34. Construcción de la matriz de comparación pareada | 96 |
| Ilustración 35. Ejemplo de cálculo de la consistencia 1 | 98 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 36. Suma de columnas | 99 |
| Ilustración 37. Ejemplo de cálculo de consistencia 1 | 99 |
| Ilustración 38. Ejemplo de cálculo de la consistencia 3 | 99 |
| Ilustración 39. Ejemplo de cálculo de la consistencia 4 | 100 |
| Ilustración 40. Cálculo de Ratio | 102 |
| Ilustración 41. Ejemplo determinación matriz | 103 |
| Ilustración 42. Supermatriz original con los vectores propios | 104 |
| Ilustración 43. Evaluación 1 alternativas software SuperDecisions | 109 |
| Ilustración 44. Evaluación 1 alternativas estadísticas | 109 |
| Ilustración 45. Evaluación 2 alternativas software SuperDecisions | 110 |
| Ilustración 46. Evaluación 2 alternativas estadísticas | 110 |
| Ilustración 47. Evaluación 3 alternativas software SuperDecisions | 111 |
| Ilustración 48. Evaluación 3 alternativas estadísticas | 112 |
| Ilustración 49. Evaluación 4 alternativas software SuperDecisions | 113 |
| Ilustración 50. Evaluación 3 alternativas estadísticas | 113 |
| Ilustración 51. Evaluación 5 alternativas software SuperDecisions | 114 |
| Ilustración 52. Evaluación 5 alternativas estadísticas | 115 |
| Ilustración 53. Evaluación 6 alternativas software SuperDecisions | 115 |
| Ilustración 54. Evaluación 6 alternativas estadísticas | 116 |
| Ilustración 55. Diferencias entre alternativas | 119 |
| Ilustración 56. Evaluación 1 software SuperDecisions, etapa 2 | 120 |
| Ilustración 57. Evaluación 1 alternativas estadísticas, etapa 2 | 122 |
| Ilustración 58. Evaluación 2 alternativas software SuperDecisions, etapa 2 | 123 |
| Ilustración 59. Evaluación 2 alternativas estadísticas, etapa 2 | 124 |
| Ilustración 60. Evaluación 3 alternativas software SuperDecisions, etapa 2 | 125 |
| Ilustración 61. Evaluación 3 alternativas estadísticas, etapa 2 | 127 |
| Ilustración 62. Evaluación 4 alternativas software SuperDecisions, etapa 2 | 127 |
| Ilustración 63. Evaluación 4 alternativas estadísticas, etapa 2 | 129 |
| Ilustración 64. Evaluación 5 alternativas software SuperDecisions, etapa 2 | 130 |
| Ilustración 65. Evaluación 5 alternativas estadísticas, etapa 2 | 131 |
| Ilustración 66. Evaluación 6 alternativas software SuperDecisions, etapa 2 | 132 |
| Ilustración 67. Evaluación 6 alternativas estadísticas, etapa 2 | 133 |
| Ilustración 68. Diferencias entre alternativas, etapa 2 | 136 |
| Ilustración 69. Diferencias entre alternativas, etapa 1 y 2 | 138 |
| Ilustración 70. Ubicaciones | 139 |
| Ilustración 71. Alternativa “A” de ubicación | 140 |

| | |
|---|-----|
| Ilustración 72. Alternativa “B” de ubicación | 141 |
| Ilustración 73. Alternativa “D” de ubicación | 142 |
| Ilustración 74. Alternativa “F” de ubicación | 142 |
| Ilustración 75. Análisis matriz requisitos legales | 145 |
| <i>Ilustración 76. Análisis Pestel</i> | 147 |
| Ilustración 77. Factores negativos | 148 |
| <i>Ilustración 78. Análisis matriz RAI</i> | 151 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Normatividad colombiana para la Gestión de Residuos Sólidos | 30 |
| Tabla 2. Fuentes de residuos sólidos | 38 |
| Tabla 3. Horarios de recolección | 61 |
| Tabla 4. Requerimientos | 64 |
| Tabla 5. Medidas de contenedores | 66 |
| Tabla 6. Tipo de flota..... | 70 |
| Tabla 7. Tipos de mantenimiento | 71 |
| Tabla 8. Especificaciones de contenedores | 78 |
| Tabla 9. Matriz de dominación Inter factorial o matriz de influencias genéricas..... | 89 |
| Tabla 10. Ejemplo ANP matriz interfactorial | 90 |
| Tabla 11. Ejemplo ANP matriz inter factorial 2 | 91 |
| Tabla 12. Ejemplo matriz ANP interfactorial 3 | 92 |
| Tabla 13. Ejemplo ANP matriz Inter factorial 4 | 92 |
| Tabla 14. Ejemplo ANP matriz Inter factorial 5 | 93 |
| Tabla 15. Ejemplo ANP matriz interfactorial 6 | 93 |
| Tabla 16. Escala Saaty | 94 |
| Tabla 17. Homogeneidad de la matriz compareada | 97 |
| Tabla 18. Homogeneidad de la matriz compareada 2..... | 97 |
| Tabla 19. Comparación de la matriz pareada | 98 |
| Tabla 20. Ejemplo de cálculo de la consistencia 1 | 100 |
| Tabla 21. Ejemplo de cálculo de la consistencia 2 | 100 |
| Tabla 22. Tabla de ratio de consistencia (CI) | 101 |
| Tabla 23. Ratio de consistencia | 102 |
| Tabla 24. Supermatriz ponderada | 105 |
| Tabla 25. Supermatriz ponderada final..... | 105 |
| Tabla 26. Supermatriz límite | 106 |
| Tabla 27. Expertos..... | 108 |
| Tabla 28. Cifras evaluaciones alternativas grupo A..... | 117 |
| Tabla 29. Cifras evaluaciones alternativas grupo B..... | 117 |
| Tabla 30. Promedios alternativas grupo A y B | 118 |
| Tabla 31. Diferencias entre alternativas | 118 |
| Tabla 32. Evaluación 1 criterios software SuperDecisions, etapa 2 | 121 |
| Tabla 33. Evaluación 2 criterios software SuperDecisions, etapa 2 | 124 |
| Tabla 34. Evaluación 3 criterios software SuperDecisions, etapa 2 | 126 |
| Tabla 35. Evaluación 4 criterios software SuperDecisions, etapa 2 | 128 |
| Tabla 36. Evaluación 5 criterios software SuperDecisions, etapa 2 | 131 |
| Tabla 37. Evaluación 6 criterios software SuperDecisions, etapa 2 | 133 |

| | |
|---|------------|
| Tabla 38. Cifras evaluaciones de alternativas grupo A, etapa 2 | 134 |
| Tabla 39. Cifras evaluaciones de alternativas grupo B, etapa 2 | 135 |
| Tabla 40. Promedios de alternativas grupo A y B, etapa 2 | 135 |
| Tabla 41. Diferencias entre alternativas, etapa 2 | 136 |
| Tabla 42. Diferencias entre alternativas, etapa 1 y 2 | 137 |
| Tabla 43. Escala de valoración..... | 143 |
| Tabla 44. Escala de interpretación..... | 143 |
| Tabla 45. Matriz requisitos Legales | 144 |
| Tabla 46. Clasificación PESTEL | 146 |
| Tabla 47. MATRIZ PESTEL..... | 146 |
| Tabla 48. Clasificación de aspectos ambientales..... | 150 |
| Tabla 49. Rango de priorización | 150 |

RESUMEN

La gestión de residuos ha adquirido una relevancia crítica en la lucha contra la contaminación ambiental. La acumulación descontrolada de residuos sólidos y líquidos contribuye significativamente a la degradación del entorno, la contaminación del agua y del aire, y la liberación de gases de efecto invernadero. A medida que la población mundial crece y la conciencia ambiental se intensifica, la gestión adecuada de residuos se convierte en un pilar fundamental para mitigar los impactos negativos en el medio ambiente y promover la sostenibilidad, lo que impulsa la implementación de regulaciones más estrictas, la innovación tecnológica y la responsabilidad corporativa en esta materia.

Los contenedores desempeñan un papel crucial en la gestión de residuos al facilitar la recolección eficiente, la separación en la fuente y la clasificación de desechos, promoviendo un proceso más sostenible. Además, contribuyen a prevenir la contaminación y a mantener limpios los entornos urbanos, alentando la participación activa de la comunidad en prácticas de reciclaje y reducción de residuos, lo que fortalece la conciencia ambiental. En este contexto, el objetivo principal del proyecto es la identificación de puntos óptimos de la localización de contenedores de residuos sólidos en un área delimitada del barrio la esmeralda donde queda ubicada la plaza de mercado teniendo en cuenta factores como la densidad poblacional, la cantidad de residuos generados, las rutas de recolección y el acceso para los vehículos de recolección. Esto con el fin de reducir la contaminación, mejorar la calidad de vida de las personas al prevenir la acumulación de residuos y optimizar el servicio de recolección de basura.

Para la implementación de este proyecto de localización de contenedores, se adopta la metodología ANP (Analytic Network Process), que combina aspectos cualitativos y cuantitativos en su enfoque. Se emplean escalas cualitativas para evaluar las relaciones y las importancias relativas entre los puntos de ubicación, lo que permite capturar las percepciones y opiniones subjetivas de los expertos o partes interesadas en la selección de sitios adecuados. Además, se incorpora un proceso de cuantificación que puede incluir valores numéricos para medir de manera precisa el impacto de las relaciones, garantizando así una toma de decisiones informada y eficaz en la localización de los contenedores.

PALABRAS CLAVES

Contaminación, Gestión de residuos, Contenedores, Sostenibilidad, Metodología ANP (Analytic Network Process).

ABSTRACT

Waste management has acquired critical relevance in the fight against environmental pollution. The uncontrolled accumulation of solid and liquid waste contributes significantly to the degradation of the environment, water and air pollution, and the release of greenhouse gasses. As the world's population grows and environmental awareness intensifies, proper waste management becomes a fundamental pillar to mitigate negative impacts on the environment and promote sustainability, driving the implementation of stricter regulations, technological innovation and corporate responsibility in this matter.

Containers play a crucial role in waste management by facilitating efficient collection, separation at source and sorting of waste, promoting a more sustainable process. In addition, they contribute to preventing pollution and keeping urban environments clean, encouraging active community participation in recycling and waste reduction practices, which strengthens environmental awareness. In this context, the main objective of the project is the identification of optimal points for the location of solid waste containers in a delimited area of the La Esmeralda neighborhood where the market square is located, taking into account factors such as population density, the number of waste generated, collection routes and access for collection vehicles. This in order to reduce pollution, improve people's quality of life by preventing the accumulation of waste and optimizing the garbage collection service.

For the implementation of this container localization project, the ANP (Analytic Network Process) methodology is adopted, which combines qualitative and quantitative aspects in its approach. Qualitative scales are used to evaluate the relationships and relative importances between location points, allowing the subjective perceptions and opinions of experts or stakeholders to be captured in the selection of suitable sites. In addition, a quantification process is incorporated that can include numerical values to accurately measure the impact of the relationships, thus guaranteeing informed and effective decision making in the location of containers.

KEYWORDS

Pollution, Waste management, Containers, Sustainability, ANP Methodology (Analytic Network Process).

INTRODUCCIÓN

La inadecuada gestión de los residuos sólidos representa una de las principales amenazas ambientales a nivel global, generando diversas formas de contaminación con graves consecuencias. La descomposición de desechos orgánicos, por ejemplo, emite gases de efecto invernadero como metano, acelerando el cambio climático; mientras que los lixiviados infiltran y contaminan suelos, dañando la fauna y flora local, así como las fuentes de agua. Además, la putrefacción de ciertos residuos libera sustancias tóxicas, peligrosas para la salud humana y animal. En Colombia, según la información más reciente proporcionada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, en el año 2020 se dispusieron diariamente 32,580 toneladas de residuos sólidos, lo que representa un aumento del 0.89% en comparación con el año anterior [1].

Dentro de los factores que agravan esta situación se encuentran las plazas de mercado, centros que a diario producen elevados volúmenes de desperdicios orgánicos e inorgánicos derivados de su actividad comercial que, de no gestionarse correctamente, exacerbaban los problemas ambientales mencionados. El incorrecto manejo y disposición final de estos desechos sólo contribuye a empeorar las consecuencias ambientales. Las plazas de mercado o galerías en Colombia son lugares de intercambio que enfrentan problemáticas como la invasión del espacio público y el uso inapropiado del suelo, la infraestructura que no está planificada para el crecimiento, dificultades en el acceso y la movilidad, así como la gestión inadecuada y disposición de los desechos, lo que contribuye a la contaminación urbana [2].

La plaza de mercado La Esmeralda, situada en el suroeste de la ciudad de Popayán, es uno de los principales espacios destinados a satisfacer las necesidades básicas de la comunidad. A pesar de su importancia, se evidencia un deficiente control de los residuos sólidos en esta plaza, lo que puede tener graves repercusiones en la salud de los compradores y vendedores. Esto se debe a que los alimentos, como verduras, frutas y productos cárnicos, que se comercializan en este lugar, están expuestos a la contaminación debido a la gestión inadecuada de los desechos.

Ante la problemática que representa la inadecuada gestión de residuos sólidos en las plazas de mercado, surge la necesidad de implementar soluciones integrales como la instalación de contenedores soterrados. Este tipo de contenedores mitigan el impacto ambiental al disponer los desechos bajo tierra, reducen la contaminación visual generada por la acumulación de basura, y mejoran las condiciones de salud pública al controlar la propagación de enfermedades asociadas a los residuos. Es

así como el presente proyecto tiene como objetivo determinar la ubicación óptima para estos contenedores en la ciudad de Popayán, empleando la metodología ANP. Mediante la definición de criterios claves y la identificación de áreas críticas de generación de residuos, se busca contribuir a una gestión integral de los desechos que reduzca los riesgos ambientales y sanitarios en los mercados locales. De esta forma, la instalación planificada de depósitos soterrados para los desperdicios orgánicos e inorgánicos producidos en estos centros de abastecimiento público, se presenta como una solución multidimensional orientada a garantizar entornos más limpios y saludables para la comunidad.

1.1 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

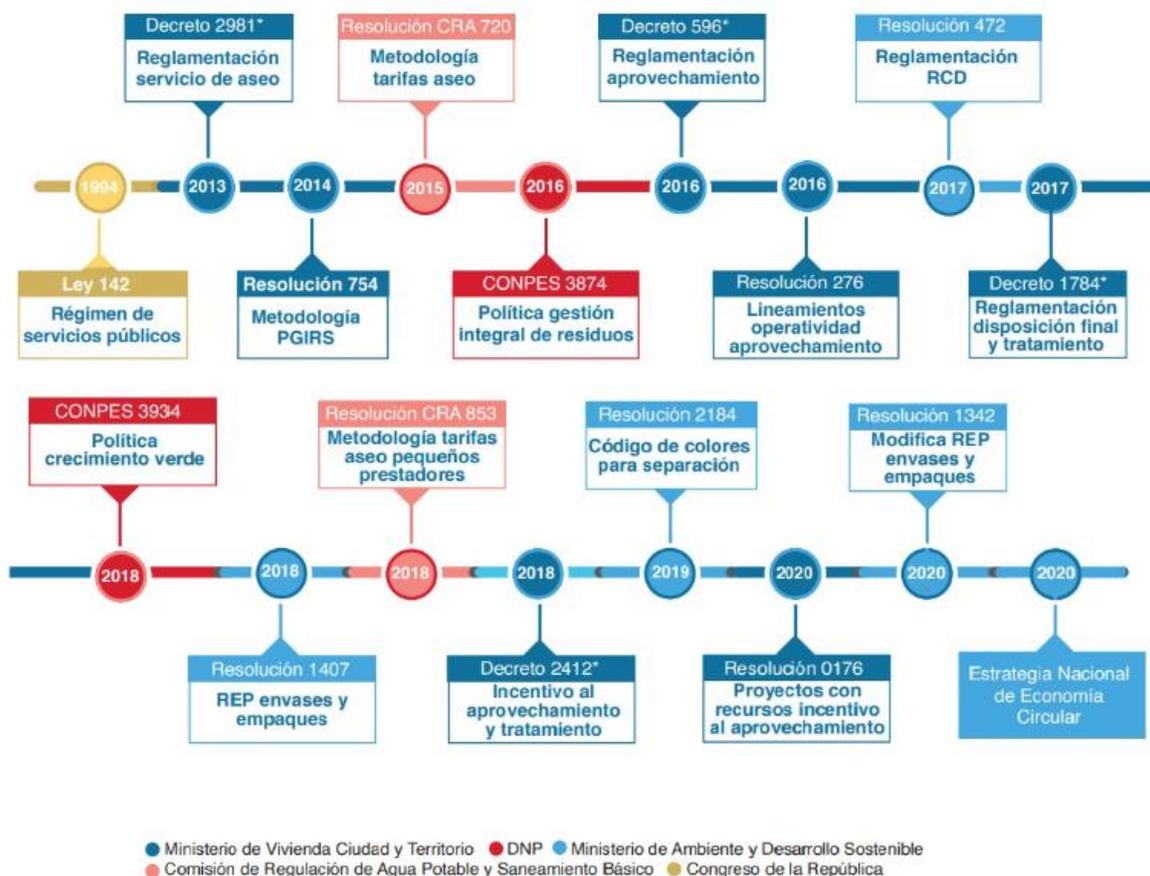
En la actualidad, el aumento desmesurado del volumen de los residuos generados por la población, la ausencia de espacios y control sobre estos, han hecho que la basura se convierta en uno de los mayores problemas de degradación del ambiente [3]. Anualmente, a nivel global, se recogen aproximadamente 11.200 mil millones de toneladas de desechos sólidos, y la descomposición de la parte orgánica de estos desechos representa aproximadamente el 5% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en el mundo [4]. La atención global se centra en los peligros que los residuos representan para el medio ambiente y la salud, lo cual ha llevado a la creación de disposiciones reguladoras, tales como leyes, reglamentos y normas.

Desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992, se comprendió la relevancia de tratar el asunto de los residuos sólidos como un componente del desarrollo sostenible [5]. Se promovió la reducción en la generación de residuos y la exploración de opciones para su uso eficiente y una gestión adecuada. Este compromiso fue reafirmado en la Cumbre de Johannesburgo en 2002, que exhortó a tomar medidas para mejorar la gestión de los desechos sólidos a nivel global [5]. En 1998, el Ministerio de Ambiente de Colombia estableció una política que abogaba por la gestión integral de los residuos sólidos, reconociendo la complejidad de los procesos de gestión ambiental y la necesidad de ajustes continuos desde diversas perspectivas. No obstante, a pesar de estos esfuerzos, en la actualidad, los residuos sólidos continúan siendo una importante preocupación ambiental en Colombia, especialmente en la mayoría de los municipios, donde el Estado enfrenta desafíos considerables en su manejo [6].

En Colombia se han buscado alternativas para el control adecuado de los residuos generados a diario, haciendo que se propongan mecanismos que contribuyan y sean amigables con la preservación del medio como por ejemplo, la Ley 1259 de 2008 establece las obligaciones de los municipios en materia de recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos generados en su territorio, incluyendo los residuos de las plazas de mercado, el código de colores, los contenedores subterráneos, plantas de tratamiento de basura, normativas para el manejo adecuado de los residuos sólidos, entre otros [7]. A pesar de contar con ciertas normativas y estrategias para el control de los residuos urbanos es posible que en algunas regiones de Colombia no se cumplan estas normativas y exista una falta de control en la gestión de residuos en las plazas de mercado, no se ha logrado establecer un método eficaz de permitir el manejo de los residuos y por consiguiente la disminución de riesgos ambientales y de salud, ya sea por la falta de concientización o porque las entidades encargadas no

cumplen su función de veedores del cumplimiento de estas normas y estrategias [8]. Algunos de los instrumentos normativos y de planeación específicos desarrollados en el país se evidencian en la Ilustración [1].

Ilustración 1. Instrumentos Normativos y de Planeación de la Gestión de Residuos



Fuente: Ministerio de planeación

Según el informe del DANE, en 2020, la cantidad total de residuos sólidos y productos residuales generados a través de procesos de producción, consumo y acumulación alcanzó un total de 26,25 millones de toneladas. De este total, el 86,3% (22,65 millones de toneladas) correspondió a residuos sólidos, mientras que el 13,7% (3,60 millones de toneladas) se clasificó como productos residuales. Este comportamiento muestra una disminución del 1,2% en la oferta en comparación con el año anterior. Esta reducción se explica principalmente por una disminución del 5,6% en la cantidad de residuos generados por las actividades económicas e importaciones, que representaron un total de 13,59 millones de toneladas. Esta

disminución contribuyó en -3,0 puntos porcentuales a la variación total como se evidencia en la Ilustración [2].

**Ilustración 2. Oferta de residuos y productos residuales según origen
Toneladas, porcentaje (%) y puntos porcentuales (pp) Total nacional.**

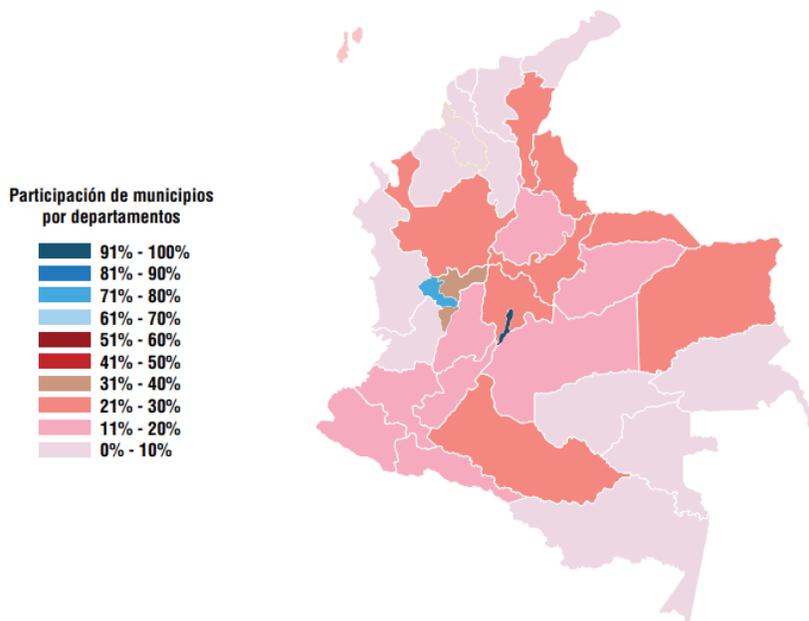
| Origen | Toneladas | | Variación anual 2020 ^P / 2019 (%) | Contribución a variación anual (pp) |
|---|---|-------------------|--|--|
| | Serie (2012 - 2020 ^P) | 2020 ^P | | |
| Actividades económicas e importaciones |  | 13.590.571 | -5,6  | -3,0  |
| Hogares |  | 12.660.448 | 4,0  | 1,8  |
| Oferta total de residuos y productos residuales |  | 26.251.019 | -1,2  | -1,2  |

Fuente: DANE

Un estudio del Observatorio Nacional de Salud (ONS) del Instituto Nacional de Salud (INS) reveló que cada año en Colombia, 17,549 muertes, equivalentes al 8% de la mortalidad anual, están relacionadas con la exposición a aire y agua de mala calidad, así como la contaminación por combustibles sólidos y metales. Estas muertes se asocian con enfermedades comunes como enfermedad isquémica del corazón, accidente cerebrovascular, enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC), infecciones respiratorias agudas, cáncer de pulmón, enfermedad diarreica aguda (EDA) y enfermedad renal crónica. El informe técnico titulado "Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia" representa un primer esfuerzo para cuantificar el impacto del ambiente en la salud de los colombianos [9].

La situación en el municipio de Popayán, ubicado en el departamento del Cauca, es similar al manejo de residuos en general. Se estima un promedio de 79,137 toneladas al año que se envían al vertedero sanitario. La mayor parte de estos residuos está compuesta por desechos orgánicos, que representan el 51.4% del peso total. En orden de importancia, se encuentran los plásticos con un 11.6%, el cartón con un 11.2%, el papel con un 8.4%, seguidos por vidrios y textiles con un 5.9%, y otros materiales con un 2.1% [10]. Es relevante destacar que el departamento del Cauca tiene una participación del 11% como se observa en la Ilustración [3] dentro de la generación de residuos en el país, lo que refleja la importancia de abordar de manera efectiva el manejo de residuos no solo a nivel local en Popayán, sino también a nivel regional para garantizar una gestión adecuada y sostenible de los desechos.

Ilustración 3. Participación de municipios por departamentos



Fuente: Encuesta a Municipios sobre Gestión de Residuos Sólidos Domiciliarios.

La gestión adecuada de los residuos sólidos urbanos es un desafío crucial en todas las ciudades, y la ubicación estratégica de los contenedores de residuos es un aspecto fundamental en este proceso. Este desafío se hace aún más evidente en la Comuna 8, donde se encuentra ubicada La Plaza de Mercado La Esmeralda, un lugar de gran importancia para la comunidad local y la región en su conjunto, no solo es un lugar de abastecimiento de alimentos frescos y productos agrícolas esenciales, sino que también impulsa la economía local, preserva tradiciones culinarias y culturales, promueve prácticas agrícolas sostenibles y fortalece los lazos comunitarios.

En este contexto, es notable que La Plaza de Mercado La Esmeralda se ha basado en gran medida en criterios subjetivos y prácticos, sin considerar aspectos críticos como la accesibilidad y la normativa ambiental vigente haciendo que actualmente se presenten dificultades significativas en la localización efectiva de los contenedores de residuos sólidos, esto, no solo tiene consecuencias ambientales, sino que también afecta a la salud pública y la calidad de vida de la comunidad. La falta de control en la gestión de los residuos sólidos urbanos puede dar lugar a problemas en los recursos hídricos y en los suelos, con el líquido percolado generado por la descomposición de las basuras, que se lleva a ríos y quebradas, y puede ser un foco de infección al atraer animales como roedores, moscas, gusanos y cucarachas. Esta contaminación pone en riesgo la salud de las personas que dependen de estas fuentes para su consumo de agua, ya que puede introducir patógenos y agentes contaminantes que causan enfermedades, en donde se ven

involucrados factores claves como el crecimiento demográfico acelerado, cambios en patrones de consumo y la falta de sistemas adecuados para la recolección y disposición final de los desechos han contribuido significativamente al aumento desproporcionado de residuos en la Esmeralda, por tanto, se hace imprescindible implementar soluciones innovadoras y eficaces para el manejo de residuos, con el fin de preservar el entorno, salvaguardar la salud pública y mejorar la calidad de vida de la comunidad en la Esmeralda. Por lo anterior, se plantea la necesidad de desarrollar un enfoque basado en la metodología ANP (Analytic Network Process) que permita optimizar la localización de los contenedores soterrados de residuos sólidos urbanos en la Plaza de Mercado La Esmeralda. Este enfoque integra criterios de accesibilidad, teniendo en cuenta factores como la distancia a las áreas de generación de residuos, la densidad poblacional y la disponibilidad de infraestructura de transporte. Además, se consideraran las regulaciones ambientales pertinentes para asegurar que la ubicación propuesta cumpla con los estándares de protección del medio ambiente. Al abordar este problema, se espera mejorar significativamente la eficiencia y la efectividad del sistema de gestión de residuos sólidos en la Plaza de Mercado La Esmeralda, promoviendo así un entorno más limpio y saludable para los residentes, visitantes y comerciantes.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La acumulación de residuos sólidos es una problemática de creciente relevancia en la sociedad actual, con graves implicaciones medioambientales. El manejo inadecuado de estos residuos puede desencadenar impactos negativos en el entorno natural, lo que destaca la necesidad de abordar esta cuestión de manera efectiva. Una disposición adecuada de los residuos sólidos es esencial para la protección de los recursos naturales, y la concienciación de la población sobre esta problemática es fundamental para fomentar prácticas responsables en materia medioambiental. En este contexto, los contenedores soterrados emergen como una solución relevante para mitigar estas implicaciones, específicamente en la Plaza de Mercado La Esmeralda, donde se está evaluando su implementación.

La importancia de la ubicación estratégica de estos contenedores radica en su influencia directa en la eficacia de la gestión de residuos y la preservación de la salud pública. Primero, la disposición estratégica de los contenedores puede incentivar el uso adecuado por parte de la comunidad al ubicarlos en lugares accesibles y convenientes, reduciendo la cantidad de residuos abandonados en las vías públicas. Segundo, esta ubicación estratégica contribuye a la minimización de riesgos para la salud pública, al alejar los contenedores de las áreas habitadas y reducir potenciales fuentes de malos olores y emisiones de gases nocivos y partículas finas. Además, limita la proliferación de enfermedades transmitidas por vectores, como moscas, ratas y cucarachas, que podrían ser atraídos por los residuos.

La regulación y control de la gestión de residuos en las plazas de mercado se torna esencial para prevenir impactos adversos en el medio ambiente y la salud pública. Dada la considerable cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos que se generan en estos lugares, la normativa ambiental establece procedimientos y normas que rigen la recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos, asegurando una gestión ambientalmente adecuada y sostenible. Estas regulaciones también promueven la separación de residuos en su origen, sistemas eficientes de recolección y transporte, así como la reducción, reutilización y reciclaje de residuos, previniendo la contaminación ambiental y la propagación de enfermedades.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la ubicación de los contenedores de residuos sólidos urbanos en la Plaza de Mercado La Esmeralda a través de la metodología ANP priorizando la accesibilidad y cumpliendo con las normativas ambientales vigentes.

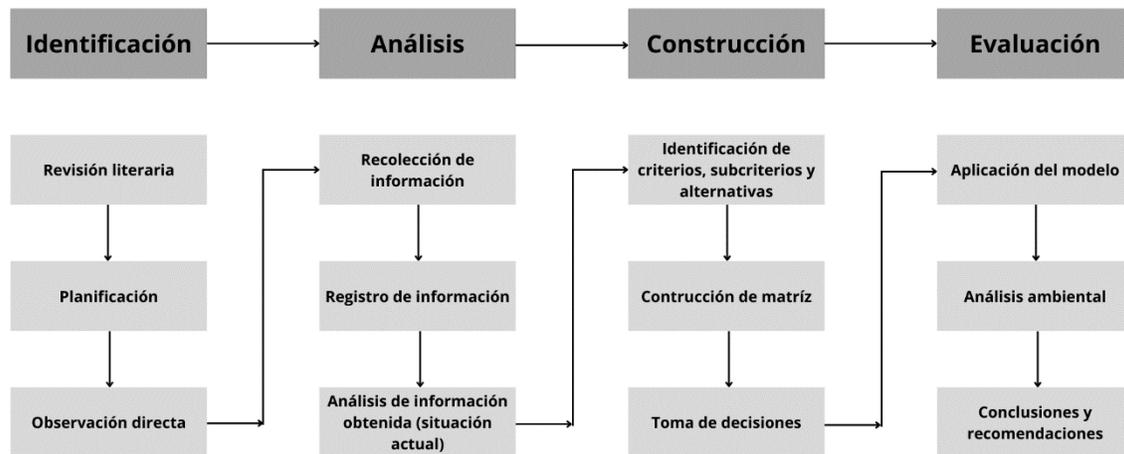
1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las áreas de generación de residuos sólidos en la Plaza de Mercado La Esmeralda y analizar la demanda de contenedores en cada zona.
- Seleccionar los criterios para determinar la ubicación óptima de los contenedores de residuos sólidos.
- Desarrollar un modelo multicriterio basado en ANP para tomar decisiones sobre la ubicación de los contenedores.
- Evaluar el modelo multicriterio considerando criterios, subcriterios y alternativas, así como también análisis del impacto ambiental.

1.3.3 Metodología

La gestión efectiva de residuos sólidos es un aspecto fundamental para mantener entornos urbanos limpios, saludables y sostenibles. La ubicación estratégica de contenedores de residuos desempeña un papel crucial en este proceso al permitir una recolección eficiente y promover la participación activa de la comunidad en prácticas de reciclaje y reducción de residuos. Se presenta una metodología diseñada para identificar la mejor ubicación de contenedores de residuos, considerando factores críticos como la generación de residuos, servicio de recolección y la optimización del sistema de gestión. Esta metodología combina enfoques cualitativos y cuantitativos, utilizando herramientas de análisis multicriterio y técnicas de evaluación como se expone en la Ilustración [4].

Ilustración 4. Diseño de metodología



Fuente: Elaboración propia

Fase I. Identificación

Para lograr el objetivo de identificación, se inicia con una revisión de proyectos previamente establecidos relacionados con la gestión de residuos sólidos urbanos, incluyendo la ubicación de contenedores, entre otros aspectos relevantes. Esta revisión literaria proporciona información valiosa y permite aprender de las experiencias y mejores prácticas implementadas en proyectos similares, orientando así la línea de trabajo y proporcionando perspectivas para el diseño y la ejecución efectiva del proyecto. Posteriormente, se procede con la planificación detallada del proyecto, en la cual se definen claramente los pasos a seguir, los plazos de ejecución, los recursos necesarios y los objetivos a alcanzar. Esta etapa es fundamental para establecer un marco de trabajo sólido y garantizar la eficiencia en la implementación del proyecto. Una vez establecida la planificación, se lleva a cabo una visita al lugar de intervención, proporcionando una comprensión directa y práctica de las condiciones del entorno, incluyendo aspectos como la geografía del área, la distribución de la población y la infraestructura existente. Además, durante esta visita se pueden identificar posibles desafíos y oportunidades que influyen en el diseño y la implementación del proyecto.

Fase II. Análisis

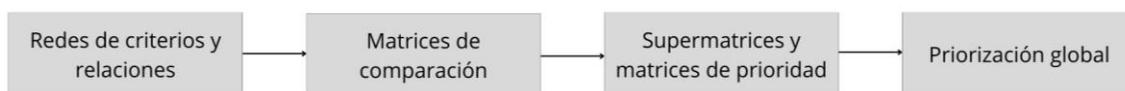
Para alcanzar el objetivo de análisis las áreas de generación de residuos sólidos en los alrededores de la Plaza de Mercado La Esmeralda y analizar la demanda de contenedores en cada zona, se requirió llevar a cabo un proceso exhaustivo de recolección de datos y análisis. Esto involucra la realización de un levantamiento minucioso de información acerca de la distribución de los puestos de venta en la

plaza, el flujo de personas que la frecuentan y de cómo funciona el servicio de recolección de residuos. Para obtener estos datos, se llevan a cabo entrevistas con la empresa encargada de la prestación del servicio de recolección de residuos, en este caso Urbaser. Durante estas entrevistas, se recopila información vital sobre la cantidad de residuos generados en diferentes áreas de la plaza y se investigaron las rutas y métodos utilizados para la recolección de residuos. Además, para hacer la caracterización de la zona y comprender mejor la distribución espacial de los residuos, se utilizan herramientas como Google Earth, que permiten visualizar de manera detallada la disposición de los puestos de venta, la infraestructura circundante y las posibles rutas de recolección. Este proceso de recopilación y análisis de datos sirve como base sólida para la toma de decisiones informadas en la ubicación óptima de los contenedores en la Plaza de Mercado La Esmeralda.

Fase III. Construcción

Para lograr el objetivo de desarrollar un modelo multicriterio basado en ANP (Análisis de Proceso de Redes) para tomar decisiones sobre la ubicación de los contenedores, se siguió un enfoque estructurado. En primer lugar, se identificaron los diferentes criterios relevantes para la toma de decisiones, como la ubicación y accesibilidad, capacidad instalada, costos, diseño y tiempo de operación; y dentro de los mismos, se detallaron los subcriterios que describen cada aspecto, como la evaluación de accesibilidad, la determinación de cantidad de residuos, la evaluación de costos iniciales, el diseño de contenedores, el tiempo de operación, entre otros. Luego, se establecen las interrelaciones y dependencias entre los criterios utilizando el método ANP, que permite considerar la importancia relativa de cada criterio y su influencia mutua. A continuación, se recopilaron los datos necesarios para evaluar los criterios y se asignaron pesos a cada uno de ellos mediante técnicas de valoración y análisis. Utilizando el modelo ANP, se lleva a cabo un análisis comparativo de las diferentes ubicaciones potenciales de los contenedores, considerando las interrelaciones entre los criterios y los pesos asignados. Finalmente, se toman decisiones informadas sobre la ubicación óptima de los contenedores basándose en los resultados obtenidos del modelo ANP, lo que permite una gestión eficiente y efectiva de los residuos sólidos. La Ilustración [5] muestra las características que seguía la metodología ANP.

Ilustración 5. Características ANP



Fuente: Elaboración propia

Fase IV. Evaluación

Para lograr el objetivo de evaluar el modelo multicriterio considerando criterios como la ubicación y accesibilidad, capacidad instalada, costos, diseño y tiempo de espera, es necesario llevar a cabo un análisis exhaustivo y sistemático utilizando el programa SuperDecisions. Este software proporciona una plataforma robusta para la toma de decisiones basada en el análisis de estructuras jerárquicas. En este proceso, se colocan los datos recopilados en una estructura jerárquica y se realiza la evaluación correspondiente, teniendo en cuenta la ponderación de los criterios y la interacción entre ellos. Se analizan los resultados de manera integral, considerando la interacción entre los diferentes indicadores y ponderando su importancia relativa. Se aplican técnicas de análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de posibles cambios en los criterios y en los pesos asignados. Finalmente, se obtienen conclusiones y recomendaciones para mejorar el modelo multicriterio, ajustando los criterios y pesos si es necesario, y estableciendo acciones específicas para lograr la reducción de tiempos de recolección, mejorar la eficiencia del sistema de gestión de residuos y minimizar el impacto ambiental de manera efectiva. Este enfoque garantiza una toma de decisiones informada y estratégica en la planificación y ejecución del sistema de gestión de residuos.

CAPITULO 1. GENERALIDADES

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presentan una serie de investigaciones relacionadas con el proyecto, que son bases fundamentales para el desarrollo de este mismo.

1. En el estudio "Evaluación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con apoyo de dispositivos de rastreo satelital: análisis e implicaciones, Ciudad de México" [11] el objetivo central es llevar a cabo un análisis exhaustivo del sistema de recolección domiciliaria en el municipio de Santiago de Querétaro, México. La metodología aplicada consiste en la evaluación detallada de dicho sistema. A través de una colaboración estrecha con autoridades pertinentes, se implementaron dispositivos de rastreo satelital en los camiones recolectores de basura, permitiendo así el monitoreo de 71 rutas en operación. La evaluación se realizó utilizando los métodos recomendados por la Secretaría de Desarrollo Social de México, enfocándose en los parámetros operativos clave para determinar el nivel de eficiencia de las rutas. En términos de conclusiones, el estudio resalta que la gestión de residuos sólidos urbanos es una tarea compleja con profundas implicaciones sociales, económicas, tecnológicas y ambientales tanto para la sociedad como para las administraciones locales. Se subraya especialmente que la fase de recolección domiciliaria puede llegar a representar entre el 70 y 85% de los costos totales de la gestión de residuos sólidos, destacando su importancia crítica dentro de la prestación del servicio.

Este estudio proporciona información crucial sobre los patrones de generación de residuos y las tendencias de recolección en la zona de estudio. Los datos permitieron identificar puntos estratégicos para la ubicación eficiente de los contenedores soterrados, teniendo en cuenta la densidad de población, las rutas de recolección existentes y las áreas de mayor actividad residencial. Además, el análisis de este estudio ofreció puntos importantes sobre las preferencias y necesidades de los residentes en cuanto a la disposición de los contenedores, contribuyendo así a optimizar la eficacia del proyecto y mejorar la gestión de residuos en la comunidad.

2. El "Estudio de viabilidad para la ubicación de contenedores soterrados en el municipio de Fusagasugá, utilizando técnicas de análisis espacial [12]," el objetivo principal fue establecer un Sistema de Información Geográfica que identificara las zonas óptimas para la instalación de una isla de contenedores soterrados, específicamente en el municipio de Fusagasugá. El método utilizado abarcó la captura de información, recopilación de datos, análisis espacial y estadístico, así como la identificación de puntos estratégicos y críticos en el casco urbano según el Plan de Gestión Integral de Residuos

Sólidos (PGIRS). Los resultados de la investigación inicial propusieron la utilización de puntos críticos dentro del área urbana de Fusagasugá como una variable relevante para la ubicación de los contenedores soterrados. Estos puntos críticos, identificados a través de la observación directa y la presentación de informes por parte de los operarios de los camiones recolectores, según los protocolos de la división de aseo de EMSERFUSA, fueron destacados en el Mapa 11. En conclusión, los objetivos del proyecto se alcanzaron mediante la aplicación de diferentes modelos y análisis correspondientes. El modelo resultante logró abarcar la mayor cantidad de población y propiedades, al mismo tiempo que minimizó la necesidad de instalar contenedores adicionales. Se generó cartografía temática para cada modelo obtenido a partir del análisis de redes, consolidando así un enfoque integral y eficiente para la ubicación de contenedores soterrados en Fusagasugá.

Este estudio proporciona una base sólida de información necesaria para identificar las ubicaciones estratégicas y eficientes para la instalación de estos contenedores en el municipio. A través de técnicas avanzadas de análisis espacial y estadístico, así como la consideración de puntos críticos en el área urbana, se logra obtener una visión detallada de las necesidades y patrones de generación de residuos.

3. Bajo el título "Automatización de un contenedor soterrado para optimizar la gestión de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo" [13], el objetivo principal de este proyecto fue la implementación y automatización de un prototipo de contenedor soterrado con el fin de mejorar la gestión de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo. Para abordar esta meta, se aplicó un método analítico-sintético, partiendo de una hipótesis y utilizando observación y experimentación para llegar a conclusiones. El método científico utilizado fue principalmente cuantitativo, registrando observaciones para medir la validez de la hipótesis (Taboada Neira, 2015). Los resultados obtenidos fueron significativos: se logró optimizar el tiempo de recolección de residuos sólidos por contenedor, reduciéndolo aproximadamente en 30 minutos. Esto se logró mediante la automatización, donde un solo ayudante puede accionar la plataforma de la isla y retirar los contenedores para colocarlos en el mecanismo de las compresoras. Este proceso toma solo alrededor de 10 minutos en comparación con los 45 minutos a 1 hora que solían llevar cuatro ayudantes con palas para recoger los residuos dispersos debido a la limitada capacidad de los antiguos tachos de basura. La conclusión es que, este sistema no solo optimiza la eficiencia en la recolección de residuos, sino que también es altamente higiénico, ya que los residuos quedan ocultos dentro del contenedor soterrado. Este enfoque innovador no solo contribuye a la mejora del proceso de gestión de residuos sólidos, sino que también aborda

aspectos importantes de higiene y eficiencia operativa en el distrito de Chiclayo.

El estudio anterior fue fundamental para ser considerado dentro del proyecto en primer lugar, la investigación proporciona un enfoque cuantitativo y analítico-sintético. La implementación y automatización del prototipo de contenedor soterrado, respaldada por este enfoque metodológico, demostraron claramente su impacto positivo en la reducción del tiempo de recolección de residuos en aproximadamente 30 minutos. Este ahorro de tiempo no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también implica una gestión más efectiva de los recursos, destacando así la viabilidad y utilidad de la implementación de contenedores soterrados en el contexto del proyecto. Además, la conclusión de que este sistema es altamente higiénico, al esconder los residuos dentro del contenedor soterrado, destaca la importancia de considerar no solo la eficiencia logística, sino también las mejoras en las condiciones sanitarias y la calidad de vida de la comunidad.

4. El estudio denominado "Diseño y cálculo de contenedores soterrados para residuos sólidos urbanos" [14], el objetivo principal de este proyecto fue definir, dimensionar y valorar las obras necesarias para la instalación de contenedores soterrados de residuos sólidos urbanos en el municipio de Matallana de Torío, León. Para lograr este propósito, el método empleado incluyó instrucciones detalladas para definir el conjunto de obras, establecer condiciones de ejecución, determinar materiales y elementos a instalar, y establecer condiciones de medición y abono de los trabajos realizados. Los resultados obtenidos revelaron una optimización significativa en el tiempo de recolección de residuos sólidos por contenedor, reduciéndolo en aproximadamente 30 minutos. Esto se logró mediante la implementación de contenedores soterrados y la automatización del proceso, donde solo se necesita un ayudante para accionar la plataforma de la isla y retirar los contenedores, en comparación con los 45 minutos a 1 hora que requerían cuatro ayudantes con palas para recoger los residuos dispersos por la limitada capacidad de los antiguos tachos de basura. La conclusión del proyecto destacó la elección de este método de recogida de residuos en el municipio como una medida para mejorar el aspecto y la estética de las vías urbanas, así como para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos al eliminar malos olores. Además, se subrayó la eficacia como medida de ahorro para el municipio, ya que disminuye los gastos de recogida debido a la menor frecuencia de vaciado de los contenedores soterrados.

El estudio, al abordar el diseño y cálculo de contenedores soterrados para residuos sólidos urbanos en el municipio de Matallana de Torío, León, proporciona una base técnica sólida para entender la infraestructura y los elementos necesarios para implementar con éxito esta solución. El objetivo del proyecto, que era definir, dimensionar y valorar las obras necesarias para la instalación de estos contenedores, proporciona una guía clara para la planificación y ejecución del proyecto de óptima localización. Los métodos detallados para definir obras,

establecer condiciones de ejecución y determinar materiales y elementos a instalar contribuyeron a la construcción de un marco sólido y técnico para la implementación de contenedores soterrados.

2.2 MARCO NORMATIVO

En el contexto de un proyecto que se enfoca en la localización óptima de contenedores de residuos, la consideración del marco legal es de suma importancia. A través de esta recopilación estructurada de información legal, el proyecto de localización de contenedores se beneficiará de un enfoque más sólido y responsable que no solo busca la optimización del sistema de gestión de residuos, sino que también busca el cumplimiento integral de las leyes, promoviendo así una gestión de residuos más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Tabla 1. Normatividad colombiana para la Gestión de Residuos Sólidos

| CARACTER | NORMA | DESCRIPCIÓN |
|----------------------------------|-----------------|---|
| Leyes manejo de residuos sólidos | Ley 09 de 1979 | <p>Para la protección del Medio Ambiente la presente Ley establece [15]:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar o mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana. b. Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente. <p>En esta norma se realizan precisiones en cada uno de sus capítulos para:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● El control sanitario de los usos del agua ● Manejo de residuos líquidos ● Manejo de residuos sólidos ● Disposición de excretas ● Áreas de captación |
| | Ley 142 de 1994 | La ley establece la normatividad para las empresas prestadores de servicios públicos domiciliarios de acueducto, aseo, energía |

| | | |
|-------------------------------------|----------------------|---|
| | | eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía fija pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural. El numeral 14.24 presenta las consideraciones generales para el servicio público de aseo en actividades complementarias como el transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos [16]. |
| | Ley 253 de 1996 | Esta Ley tiene por objetivo el “control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación adecuada” [17], puesto que, se busca la mitigación de los posibles daños que se puedan presentar en la salud humana y en el medio ambiente a la hora de su disposición. |
| | Ley 430 de 1998 | Se dictan esencialmente las normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos, además de otras disposiciones. En función de lo anterior, se darán a conocer los capítulos contemplados en dicha Ley [18] <ul style="list-style-type: none"> ● Capítulo 1: comprende todo lo relacionado a objeto, principios, prohibición, tráfico ilícito e infraestructura. ● Capítulo 2: responsabilidades del generador y receptor de los residuos. ● Capítulo 3: Otras disposiciones referentes a vigilancia y control, sanciones, vigencia y aceites lubricantes de desechos |
| Decretos manejo de residuos sólidos | Decreto 2104 de 1983 | Tiene por objetivo estructurar de manera integral la normativa referente al servicio del aseo y al manejo de la basura. En primer lugar, allí se abordan las definiciones de términos relacionados al manejo de residuos tales como “basura, residuos sólidos, desperdicios, desechos, etc” que facilitan la comprensión y contextualización de la norma. Posteriormente, se mencionan las funciones que debe adoptar el sistema de prestación del servicio de aseo, las cuales comprenden el almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento, disposición sanitaria, limpieza de vías, |

| | | |
|--|------------------------------------|---|
| | | recuperación, etc. [19]. |
| | Decreto Reglamentario 2462 de 1989 | Reglamenta de manera parcial el Código de Minas y el Decreto 507 de 1955, establece todas las normas, derechos y responsabilidades referentes a las minas y canteras que se encuentren ejerciendo su actividad económica. También define la documentación necesaria para desempeñar sus actividades económicas, dependiendo o no del título minero otorgado por el ministerio de minas y energía [20]. |
| | Decreto 605 de 1996 | <p>Estipula las normas que tienen el objetivo de regular el servicio público domiciliario de aseo, teniendo en cuenta sus componentes, niveles, clases, modalidades, y el régimen de los usuarios y de las entidades prestadoras del servicio. Citado textualmente del Decreto 605 de 1996, se presentan las normas y responsabilidades definidas para los prestadores de servicios públicos domiciliarios de aseo [21]:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Principios básicos para la prestación del servicio de aseo. ● Responsabilidad del servicio público de aseo. ● Responsabilidad en el manejo de residuos sólidos domésticos. ● Responsabilidad en el manejo de residuos sólidos peligrosos. ● Cobertura y ampliación de las zonas de operación. ● Prestación de servicios en zonas marginadas. ● Almacenamiento y presentación de los residuos. ● Recolección. ● Transporte. ● Barrido y limpieza de áreas públicas. ● Estaciones de transferencia. ● Sistema de aprovechamiento de residuos sólidos. ● Sistemas de disposición final. |
| | Decreto 1140 de 2003 | En primer lugar, manifiesta que todo agente que preste servicio de aseo, tiene la obligación de contar con centros de almacenamiento adecuados para la no |

| | | |
|---|-------------------------|--|
| | | <p>acumulación de microorganismos o proliferación de insectos. En segundo lugar, manifiesta que los residuos deben ser situados en una unidad de almacenamiento o en la acera, para que posteriormente sea recolectada por la entidad correspondiente. En tercer lugar, hace mención del derecho que tienen las personas de obtener información acerca de disposiciones legales vigentes, de participar en comités de desarrollo, de recibir un costo justo por la prestación del servicio de aseo y demás [22].</p> |
| | Decreto 1505 de 2003 | <p>Este Decreto tiene por objetivo hacer que los municipios y distritos cuenten con un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) actualizado y vigente con el fin de posibilitar y facilitar el seguimiento y control referente a esta cuestión. Adicionalmente, manifiesta que los recicladores deberán ser involucrados en los planes de gestión integral de residuos sólidos y que deberán participar activamente en diferentes actividades relacionadas a la recuperación y aprovechamiento [23].</p> |
| Resoluciones manejo de residuos sólidos | Resolución 2309 de 1986 | <p>Contempla la normativa general en temas de salubridad para el manejo, disposición, uso y transporte de los residuos sólidos [20]. Así mismo, hace especial énfasis en el manejo, recolección, transporte y disposición de residuos especiales dentro de los cuales se encuentran los materiales peligrosos como objetos, elementos o sustancias que se desechan y son tóxicos, inflamables, radioactivos o que presentan un riesgo potencial a la salud humana [24].</p> |
| | Resolución 541 de 1994 | <p>Citado textualmente de la Resolución 541 de 1994 presentada por el ministerio de ambiente, mediante la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación [25].</p> |

| | | |
|---------------------------------------|-------------------------|--|
| | Resolución 0189 de 1994 | Específica aquellas regulaciones que previenen y evitan el ingreso de residuos peligrosos al territorio nacional. Para la formulación de esta resolución se consideró toda actividad susceptible de producir algún riesgo que aluda en contra de la salud humana y/o que deteriore los recursos naturales y al medio ambiente [26]. |
| | Resolución 1045 de 2003 | Esta Resolución busca implementar las mejores metodologías para el manejo de los residuos sólidos (recolección, tratamiento, procesamiento y disposición final) con el objetivo de minimizar el daño medioambiental, promover la reutilización de los residuos, utilizar el material reciclado como fuente para la producción de nuevos bienes y tener la capacidad de restaurar los suelos. Adicionalmente, hace énfasis en el papel que toma el Ministerio del Medio Ambiente para la determinación de normas ambientales, y para la regulación y control de los procesos respectivos para el saneamiento del medio ambiente [27]. |
| | Resolución 1390 de 2005 | Tiene por objetivo principal impulsar la restauración ambiental de todas aquellas zonas implementadas para la disposición de residuos en los municipios del país. En caso contrario, estas deberán ser clausuradas [28]. |
| Documentos manejo de residuos sólidos | CONPES 2750 de 1994 | Este documento busca considerar las premisas de la política ambiental del “Salto Social”. De igual forma, busca avanzar gradualmente en pro del desarrollo sostenible, contribuyendo a la mejora y a la formación del capital social. Esto, con el objetivo de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras en el contexto nacional, garantizando la renovación de los recursos naturales y cambiando el enfoque del uso que se les da en las diferentes actividades económicas. El documento CONPES 2750 de 1994, textualmente, presenta los siguientes capítulos y temáticas de interés [29]. <ul style="list-style-type: none"> ● Crisis Ambiental ● Política Ambiental |

| | | |
|------------------------|--|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ● Áreas de Acción y Programas ● Financiación ● Recomendaciones <p>Dentro de los programas y metas de la política ambiental se contemplan:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Protección de ecosistemas estratégicos ● Más agua ● Mares y costas más limpias ● Más bosques ● Mejores ciudades ● Producción limpia ● Educación y concientización ambiental ● Desarrollo del sistema nacional ambiental Información e investigación Ambiental |
| Leyes reciclaje | Proyecto de ley N° 298-2020 de 2019 Senado | Busca implementar un sistema de “Devolución y Retorno de Envases de un solo uso” SDR. El objetivo es brindarle al cliente final un 10% del valor del envase que retornará en puntos determinados [30]. |
| Decretos reciclaje | Decreto 1713 de 2002 | Normas para la regulación del servicio público del aseo en lo referente a la gestión de los residuos sólidos, con base en sus diferentes componentes, niveles, clases, modalidades [31]. |
| Resoluciones reciclaje | Resolución 1407 de 2018 | “Reglamentar la gestión ambiental de residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metal” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Para dar cumplimiento con esta resolución, se les exige a los productores que implementen un Plan de Gestión Ambiental de forma estratégica y actualizada para aprovechar los residuos clasificados como envases y empaques [32]. |
| | Resolución 2184 del 2019 | Esta resolución exige la adopción del código de colores para el correcto aprovechamiento y disposición de los residuos a partir del primero de enero del año 2021. Este código de colores dicta que el verde representará los residuos orgánicos, el blanco representará los residuos como plásticos, vidrio, metales, papel o el cartón, y que el color negro representará todos aquellos |

| | | |
|-------------------------------|---------------------|--|
| | | residuos que ya no son susceptibles de ser aprovechados [33]. |
| Documentos sobre el reciclaje | CONPES 3874 de 2016 | Este documento expone la importancia y la necesidad que tiene el país de diseñar e implementar una gestión de residuos encaminada a una economía circular. Con base en dicha premisa, el documento establece una Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos que cuenta con cuatro ejes centrales. El primero tiene por objeto que todas las medidas se direccionen a la mitigación y prevención de la generación de residuos sólidos; a la incentivación de técnicas para la recuperación, tratamiento y aprovechamiento de este tipo de residuos; y a la prevención de generación de gases efecto invernadero. El segundo, se enfoca principalmente en la evolución y transformación que debe experimentar la cultura ciudadana. El tercero plantea la iniciativa de designación de roles específicos a ciertas entidades con el fin de que conduzcan actividades relacionadas a la recuperación y tratamiento de residuos. El cuarto y último eje plantea una serie de acciones para que la información sectorial relacionada a la gestión de residuos sea monitoreada, verificada y divulgada [29]. |
| Leyes sancionatorias | Ley 1259 de 2008 | Esta ley tiene como fin, imponer los comparendos ambientales como mecanismo para comprometer a la ciudadanía a hacer un correcto manejo de los residuos sólidos y escombros, y así, proteger el medio ambiente y la salud de los habitantes. Además, se le proporcionarán estímulos a todas aquellas personas jurídicas o naturales que posean buenas prácticas ambientales [34]. |
| | Ley 1333 de 2009 | Manifiesta que el Estado cuenta con la potestad sancionatoria en materia ambiental, teniendo como principal entidad intermediaria, al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Esta entidad en conjunto con otras autorizadas por el Estado tendrá la facultad para llevar a |

| | | |
|-----------------------------|-------------------------|--|
| | | cabo medidas preventivas o sancionatorias en caso tal de que alguna persona natural o jurídica se encuentre presunta de cometer alguna infracción ambiental y no se logre comprobar lo contrario. Cabe señalar que la ley clarifica lo que es una infracción en materia ambiental, con el fin de evitar ambigüedades o distorsiones al respecto [35]. |
| Resoluciones sancionatorias | Resolución 2086 de 2010 | Define la metodología que se deberá llevar a cabo para la tasación correspondiente a una multa o comparendo ambiental. Dicha resolución, hace mención de la necesidad de utilizar el siguiente modelo matemático: $Multa = B + [(\alpha * i) * (1 + A) + Ca] * Cs$ “Siendo “B” el beneficio ilícito,” α “ el factor de temporalidad, “i” el grado de afectación ambiental y/o evaluación del riesgo, “A” las circunstancias agravantes y atenuantes, “Ca” los costos asociados y “Cs” la capacidad socioeconómica del infractor” [36]. |
| Decretos sancionatorios | Decreto 3678 de 2010 | Clarifica todos aquellos criterios que hay que tener en cuenta a la hora de aplicar sanciones ambientales. Además, menciona los diferentes tipos de sanción que pueden implementar las entidades autorizadas, las condiciones en que estas se pueden dar, las medidas que se deben tomar en caso tal de que se incumpla la infracción, y demás aspectos relacionados [37]. |

Fuente: Elaboración propia

2.3 RESIDUOS SÓLIDOS

Los desechos sólidos son aquellos materiales que se descartan una vez que han cumplido su ciclo de vida y generalmente no tienen valor económico por sí mismos. Están compuestos principalmente por productos desechados durante la fabricación, transformación o uso de bienes de consumo. La mayoría de estos residuos sólidos pueden ser reutilizados o transformados adecuadamente a través del reciclaje. Los principales generadores de residuos sólidos son los habitantes de las ciudades

grandes, y lamentablemente, en la actualidad, existe poca conciencia sobre la importancia del reciclaje [38].

2.3.1 Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos son los desechos generados en áreas urbanas y densamente pobladas [39]. Estos residuos provienen de diversas fuentes, y comprender de dónde vienen es fundamental para abordar de manera efectiva los desafíos relacionados con la gestión de residuos y la sostenibilidad. En la siguiente Tabla 2 se muestran algunas de las principales fuentes de residuos sólidos.

Tabla 2. Fuentes de residuos sólidos

| Fuente | Instalaciones, actividades o localizaciones donde se generan | Tipos de residuos sólidos |
|-------------------------------|---|--|
| Doméstica | Viviendas aisladas y bloques de baja, media y elevada altura, etc., unifamiliares y multifamiliares. | Residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuos de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, cenizas, hojas en la calle, residuos especiales (artículos voluminosos, electrodomésticos). |
| Comercial | Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, imprentas, gasolineras, talleres mecánicos, etc. | Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales, residuos peligrosos, etc. |
| Institucional | Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales. | (Como en comercial) |
| Construcción y demolición | Nuevas construcciones, lugares de reparación/renovación de carreteras, derribo de edificios... | Madera, acero, hormigón, suciedad, etc. |
| Serv. municipales (excluyendo | Limpieza de calles, paisajismo, limpieza de cuencas, parques y playas, entre otras zonas de recreo. | Residuos especiales, basura, barraduras de la calle, recortes de árboles y plantas, residuos de cuencas, residuos |

| | | |
|---|--|--|
| plantas de tratamiento) | | generales de parques, playas y zonas de recreo. |
| Plantas de tratamiento; incineradores municipales | Agua, agua residuales y procesos de tratamiento industrial, etc. | Residuos de plantas de tratamiento, compuestos principalmente de fangos. |

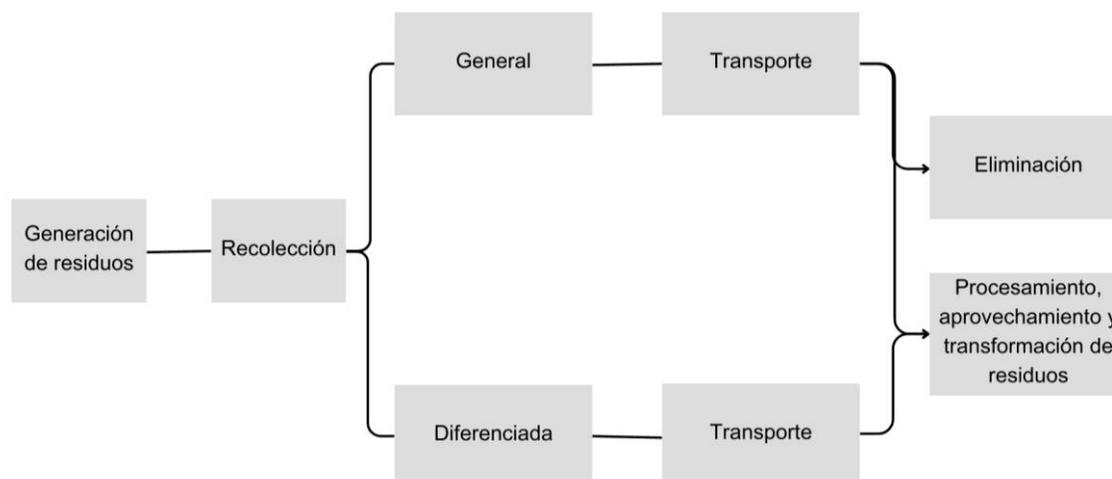
Fuente: Elaboración propia

2.3.1.1 Manejo de residuos sólidos urbanos (PGIRS)

La planificación integral de la gestión de residuos sólidos es un proceso que se desarrolla en etapas iterativas y dinámicas y está vinculado con la cadena de manejo de estos desechos. Este plan involucra la participación de diversos actores, dado que la problemática de los residuos sólidos está estrechamente relacionada con asuntos ambientales que tienen un impacto directo en la economía, los hogares y la comunidad en su conjunto.

En la gestión responsable de los residuos sólidos, se hace evidente la estrecha relación entre el manejo de residuos y la implementación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). El PGIRS se presenta como una herramienta específicamente diseñada para planificar y ejecutar de manera efectiva la administración de los residuos sólidos, proporcionando un enfoque estructurado y estratégico para abordar los desafíos en esta área [40]. En la Ilustración [6] se describen las etapas de la gestión de residuos.

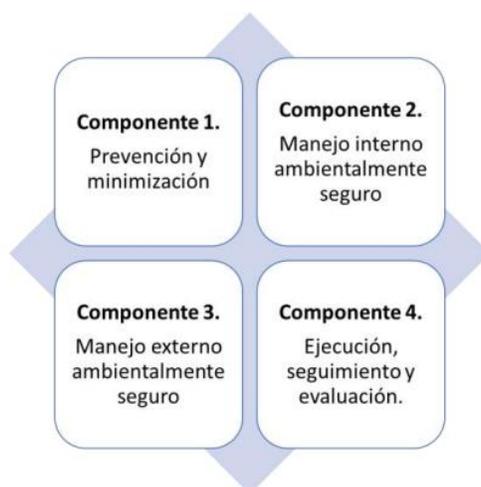
Ilustración 6. Etapas gestión de residuos



Fuente: Elaboración propia

El PGIRS se basa en un diagnóstico detallado de la situación actual de los residuos sólidos en una entidad específica y establece estrategias y acciones específicas para mejorar la gestión de residuos. Además, promueve la participación ciudadana y la educación ambiental para sensibilizar a la población sobre la importancia de la gestión adecuada de los residuos, como ilustración de su funcionamiento, en la Ilustración [7] se presenta el esquema general del Plan de Gestión Integral de Residuos.

Ilustración 7. Esquema general del Plan de Gestión Integral de Residuos



Fuente: Elaboración propia

De manera resumida, es posible visualizar en la figura anterior lo siguiente:

- **Componente 1:** Se centra en estrategias y acciones destinadas a reducir o evitar la generación de residuos sólidos en primer lugar y minimizar su impacto ambiental.
- **Componente 2:** Se centra en las acciones y prácticas que una entidad o empresa implementa para garantizar que el manejo de los residuos sólidos dentro de sus instalaciones sea seguro para el medio ambiente y la salud humana. Este componente está relacionado con la gestión de residuos generados internamente en una entidad o empresa antes de que se eliminen adecuadamente.
- **Componente 3:** Se refiere a las acciones y prácticas relacionadas con la gestión de los residuos sólidos una vez que han sido recogidos y están listos

para su transporte y disposición final. Este componente se centra en garantizar que el manejo externo de los residuos sólidos sea seguro para el medio ambiente y la salud pública.

- **Componente 4:** En esta última fase del plan, se implementan las acciones planificadas, se supervisan y se evalúan los resultados para garantizar que se cumplan los objetivos establecidos. Este componente es esencial para llevar a cabo de manera efectiva y eficiente todas las acciones y estrategias definidas en el PGIRS.

En Colombia, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) desempeña un papel crucial en la gestión de residuos y la promoción de prácticas más sostenibles. El PGIRS se establece como un requisito legal en el país, de acuerdo con la Ley 1259 de 2008 y el Decreto 1077 de 2015, que establecen las directrices y regulaciones para su elaboración y ejecución [41]. Este plan tiene como objetivo principal promover la gestión adecuada de los residuos sólidos en todas las entidades territoriales de Colombia, incluyendo municipios, departamentos y distritos, así como en empresas e instituciones públicas y privadas. Su implementación busca reducir la generación de residuos, fomentar la separación en la fuente, impulsar el reciclaje, y garantizar la disposición final adecuada de los residuos no reciclables [42].

2.3.2 Implicaciones económicas de los residuos sólidos

Las implicaciones económicas de los residuos sólidos son sustanciales y abarcan diversos aspectos. Por un lado, la gestión y disposición de estos desechos conlleva costos significativos para los municipios o las empresas, que deben hacer frente a la recolección, transporte y eliminación de residuos. Estos costos incluyen la inversión en infraestructuras como vertederos y plantas de incineración. Además, la gestión inadecuada de residuos puede generar gastos adicionales relacionados con la salud pública, como el tratamiento de enfermedades y lesiones causadas por la exposición a residuos peligrosos. Sin embargo, existe un potencial económico positivo en la gestión de residuos, ya que el reciclaje y la recuperación de materiales valiosos pueden reducir los costos de adquisición de materias primas nuevas y fomentar la creación de empleos en la industria del reciclaje. La responsabilidad empresarial en la gestión de residuos también puede influir en la percepción de los consumidores y la reputación de las empresas, lo que tiene implicaciones económicas adicionales.

2.3.3 Residuos sólidos: Salud y medio ambiente

La gestión de residuos sólidos es un tema de creciente relevancia en la actualidad, ya que está estrechamente ligada a la preservación del medio ambiente y la salud pública. Se han presentado tres situaciones principales relacionadas con la gestión de residuos: la transmisión de enfermedades, el riesgo de lesiones y la contaminación [43]. Los patógenos transmitidos por los desechos pueden causar enfermedades, especialmente en menores de edad, y que los vectores como moscas, ratas y cucarachas, que se reproducen en estos desechos, pueden propagar enfermedades bacterianas y parasitarias. Por otra parte, en la recolección de residuos se ve expuesta la integridad de la población debido a los objetos afilados presentes en los desechos y vertederos pueden dar lugar a lesiones e infecciones en las personas; las personas que se dedican a recuperar materiales de los vertederos pueden perturbar el servicio de recolección y exponerse a riesgos significativos de infección y lesiones. Por último, la quema de desechos genera contaminantes sólidos que afectan el sistema respiratorio de las personas. Estas cuestiones ponen de relieve la importancia de una gestión adecuada de los residuos sólidos para la salud y el medio ambiente.

La gestión de residuos sólidos y su impacto en el medio ambiente están estrechamente interconectados. La disposición inadecuada de residuos sólidos puede dar lugar a la contaminación del suelo, del aire y del agua. Estos efectos incluyen la infertilidad de la tierra debido al vertido y la acumulación indiscriminada de residuos, la contaminación de las aguas subterráneas con nitratos y metales pesados que se filtran a través de los residuos en áreas de eliminación, la contaminación de las aguas pluviales y superficiales debido a la presencia de residuos en áreas impermeables, la transformación del agua en un elemento no apto para el consumo humano y la vida acuática, el aumento del riesgo de inundaciones debido a la evacuación indiscriminada de residuos en los ríos, el deterioro de la calidad del aire provocado por los sólidos en los efluentes y el humo de la incineración de residuos, la contaminación del aire debido al metano liberado por la descomposición de residuos orgánicos no controlados y los gases tóxicos generados por la quema de materiales plásticos, y la degradación del aire debido al ruido y el olor producidos por las instalaciones de tratamiento de residuos [43].

La adopción de prácticas responsables en la gestión de residuos no solo protege el entorno natural, sino que también contribuye a salvaguardar la salud de las comunidades locales y a promover un futuro más limpio y sostenible para las generaciones venideras; una gestión responsable de los residuos es esencial para lograr un equilibrio entre el bienestar humano, la preservación del planeta y el desarrollo sostenible a largo plazo.

2.3.4 Residuos sólidos y desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible no consiste en preservar los recursos finitos de la Tierra de manera inalterada, sino en lograr un desarrollo económico que satisfaga todas las necesidades de las generaciones futuras, al mismo tiempo que se evita que estas últimas se vean imposibilitadas de satisfacer sus propias necesidades [44]. De este modo, el concepto de desarrollo sostenible debe ser entendido como una relación con el entorno natural, y su objetivo va más allá de simplemente equilibrar el crecimiento económico con la preservación del medio ambiente. Es necesario lograr una combinación adecuada entre el potencial ecológico, el avance tecnológico, la diversidad cultural y la sociedad, con el fin de construir el desarrollo sostenible. Esto implica satisfacer las necesidades fundamentales de las personas y mejorar su calidad de vida, promoviendo una transformación que fomente valores éticos y sociales, y establezca un nuevo modelo de interacción con la naturaleza [45]. La gestión de residuos es un elemento clave de una estrategia global de desarrollo sostenible.

2.4 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La gestión de residuos sólidos se puede describir como la práctica que abarca el control de la producción, almacenamiento, recolección, traslado, procesamiento y disposición de desechos sólidos de manera que esté en consonancia con los principios óptimos de salud pública, eficiencia económica, ingeniería adecuada, conservación de recursos, consideraciones estéticas y otros aspectos ambientales, al mismo tiempo que satisface las expectativas de la sociedad [46]. La recolección de residuos es el componente central alrededor del cual giran todos los demás servicios relacionados. La planificación efectiva del sistema de recolección de residuos en una comunidad, especialmente en una ciudad densamente poblada, es un desafío que involucra principios de ingeniería aplicada [47].

2.4.1 Sistemas de recolección

La eficacia y rendimiento de un sistema de recolección dependen de la armonización adecuada de varios factores interconectados. Estos factores tienen como objetivo lograr una recolección de residuos eficiente desde el punto de vista

sanitario, al mismo tiempo que mantienen una estética acorde con las actividades de recolección de residuos [47]. Esto incluye consideraciones como el tamaño de los vehículos utilizados para la recolección, la cantidad de personal por vehículo, la tipología de los residuos recolectados, la frecuencia de viajes al lugar de disposición final, y la extensión del área que abarca cada vehículo, entre otros aspectos cruciales.

Los métodos de recolección de residuos pueden clasificarse según el grado de especialización de los vehículos recolectores utilizados en la prestación del servicio en tres categorías [48]:

- **Métodos mecanizados:** sistemas de gestión de residuos sólidos en los cuales se utilizan vehículos especializados y equipados con tecnología automatizada para llevar a cabo la recolección de los residuos. Estos sistemas se caracterizan por su alto grado de eficiencia y capacidad para recoger grandes volúmenes de residuos de manera rápida y efectiva.
- **Métodos semimecanizados:** sistemas de gestión de residuos que combinan elementos de automatización y tecnología con cierta intervención manual. En estos sistemas, se utilizan vehículos recolectores que están equipados con tecnología parcialmente automatizada para llevar a cabo la recolección de residuos de manera más eficiente que los métodos totalmente manuales, pero no al nivel de los métodos completamente mecanizados.
- **Métodos manuales:** sistemas de gestión de residuos en los cuales la recolección se realiza principalmente a través de la intervención humana sin la utilización de equipos especializados automatizados. En estos métodos, los trabajadores encargados de la recolección recogen los residuos directamente de los contenedores o lugares de disposición y los cargan manualmente en vehículos o equipos de transporte.

La elección del método de recolección adecuado depende de varios factores, como la densidad de población, la infraestructura disponible, el presupuesto y los objetivos de gestión de residuos de una determinada localidad. Cada método tiene sus ventajas y desventajas, y su selección debe considerar la eficiencia, la sostenibilidad y la capacidad de adaptación a las condiciones locales. Las operaciones de recolección y transporte de residuos sólidos son procesos fundamentales que siguen una serie de pasos iterativos, repetidos desde que los residuos son presentados por los generadores hasta que son descargados en los puntos de tratamiento o plantas de transferencia.

Existen varias modalidades de recolección de residuos, cada una con sus características particulares [49]:

- **Método de esquina o parada fija:** Este enfoque implica que un camión recolector se desplace a puntos predefinidos, donde se hace sonar una señal de campana para alertar a los usuarios. Los residentes acuden a estos puntos con sus recipientes de residuos cuando escuchan la señal. Aunque este método es económico, requiere la participación activa de los usuarios y que estén en sus hogares cuando pasa el camión recolector.
- **Método de recolección a pie de vereda o acera:** Esta modalidad ofrece un servicio completo en el que el personal de recolección recoge los residuos directamente de las viviendas, lo que no implica trabajo alguno para las familias o locales afectados. Sin embargo, este método requiere una cantidad significativa de mano de obra.
- **Método de “llevar y traer” o intradomicilio:** En este enfoque, se utilizan recipientes especiales que los residentes colocan en contenedores o cubos. Esto reduce la cantidad de personal necesaria por vehículo y acorta los tiempos de recorrido, aunque aún requiere la colaboración de los usuarios en la colocación de los recipientes.
- **Método de contenedores:** Este método implica un mayor esfuerzo por parte de los usuarios, ya que deben desplazarse hasta contenedores específicos ubicados en áreas cercanas a sus viviendas. Esto también permite reducir la cantidad de personal requerido en cada camión recolector. Además, se exige un mantenimiento estricto de los contenedores, como la desinfección periódica, y la colaboración activa de los vecinos.

2.4.2 Equipos de recolección y transporte

La recolección de residuos es el componente central alrededor del cual giran todos los demás servicios relacionados. La planificación efectiva del sistema de recolección de residuos en una comunidad, especialmente en una ciudad densamente poblada, es un desafío que involucra principios de ingeniería aplicada [50]. La eficacia y rendimiento de un sistema de recolección dependen de la armonización adecuada de varios factores interconectados. Estos factores tienen como objetivo lograr una recolección de residuos eficiente desde el punto de vista sanitario, al mismo tiempo que mantienen una estética acorde con las actividades de recolección de residuos [50]. Esto incluye consideraciones como el tamaño de los vehículos utilizados para la recolección, la cantidad de personal por vehículo, la tipología de los residuos recolectados, la frecuencia de viajes al lugar de disposición final, y la extensión del área que abarca cada vehículo, entre otros aspectos cruciales.

Los equipos de recolección de basura pueden variar según la región y la entidad encargada de la gestión de residuos, por lo que los equipos utilizados pueden adaptarse a las necesidades específicas de cada localidad. Sin embargo, algunos de los equipos comunes utilizados en la recolección de basura en el país incluyen:

- **Camiones Recolectores de Basura:** Estos vehículos se utilizan para la recogida de residuos sólidos en áreas urbanas y rurales. Vienen en diferentes tamaños y configuraciones, como camiones compactadores que comprimen los residuos para aumentar la capacidad de carga y camiones con contenedores especiales para la recogida selectiva de materiales reciclables.
- **Equipos Manuales:** En algunas zonas rurales o de difícil acceso, los trabajadores de la recolección utilizan herramientas manuales como carros de mano y palas para recoger y transportar los residuos.
- **Equipos de Recogida Selectiva:** Para la recogida selectiva de materiales reciclables, se utilizan contenedores o bolsas específicas para separar vidrio, papel, cartón, plástico y otros materiales reciclables de los residuos generales.
- **Vehículos de Transferencia:** Estos vehículos se utilizan para transportar los residuos desde los puntos de recogida primarios hasta instalaciones de tratamiento o disposición final. Ayudan a consolidar los residuos y reducir la cantidad de viajes necesarios.
- **Equipos de Protección Personal:** Los trabajadores de la recolección suelen utilizar equipos de protección personal, como guantes, cascos y chalecos reflectantes, para garantizar su seguridad mientras realizan las tareas de recolección.
- **Contenedores de basura:** Los contenedores de basura se colocan en áreas públicas y residenciales para que los ciudadanos depositen sus residuos. Estos contenedores varían en tamaño y diseño, desde contenedores pequeños en las aceras hasta contenedores más grandes en parques y lugares de alta afluencia.

2.4.3 Contenedores

A lo largo de la historia, los contenedores de residuos han experimentado una notable evolución. Desde los rudimentarios recipientes de arcilla utilizados en las civilizaciones antiguas hasta los avanzados sistemas de gestión de residuos del siglo XXI, esta evolución ha estado marcada por la búsqueda constante de soluciones más eficientes y sostenibles para abordar los desafíos de la gestión de residuos. Durante la Revolución Industrial en el siglo XIX, se introdujeron

contenedores de madera y metal para hacer frente al crecimiento urbano y a los problemas de residuos generados por las ciudades en expansión. En la década de 1930, Estados Unidos desarrolló los primeros contenedores de basura con ruedas, lo que permitió una recolección más eficiente y facilitó la manipulación de contenedores pesados. En la década de 1960, surgieron los contenedores de plástico, que eran más livianos y resistentes a la corrosión que los de metal, lo que contribuyó a su adopción generalizada en muchas ciudades. Con el creciente enfoque en la gestión de residuos y el reciclaje en la década de 1970, se diseñaron contenedores específicos para la separación de materiales reciclables, promoviendo prácticas más sostenibles. En el siglo XXI, la tecnología ha desempeñado un papel crucial, con contenedores equipados con sensores que permiten un monitoreo en tiempo real del llenado y la recolección eficiente. Además, la innovación ha llevado a la creación de contenedores soterrados, parcialmente enterrados bajo tierra, estéticamente agradables y capaces de contener mayores cantidades de basura, lo que reduce la frecuencia de recolección. La evolución de los contenedores de residuos refleja la creciente conciencia sobre la gestión de residuos y la importancia de la sostenibilidad ambiental, y busca soluciones cada vez más eficientes para abordar los desafíos de los residuos en áreas urbanas y rurales.

2.4.3.1 Contenedores soterrados

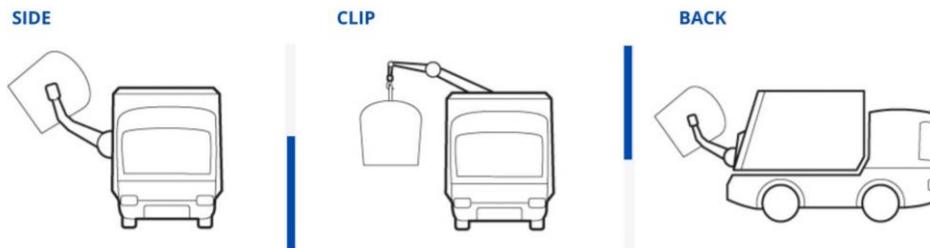
El sistema consiste en una serie de plataformas elevadoras, con tapa pavimentada, en un foso de hormigón, quedando a la vista solamente el buzón de depósito, manteniendo un aspecto agradable, discreto e integrado con el espacio que los rodea. Los contenedores soterrados son factibles debido a su capacidad para abordar de manera eficiente múltiples desafíos en la gestión de residuos urbanos. Estas soluciones permiten optimizar el espacio, mejorar la estética urbana y reducir problemas como olores y plagas. Además, su mayor capacidad de almacenamiento y durabilidad reduce los costos operativos a largo plazo. Promueven la separación de residuos y el reciclaje, contribuyendo a prácticas más sostenibles y al bienestar de las comunidades urbanas [51].

2.4.3.2 Descripción de contenedores soterrados

Los contenedores soterrados de capacidad estándar consisten en una isla de buzones de deposición sobre uno de los tres sistemas de soterrado Side, Back o Clip como se observa en la Ilustración [8]. Son sistemas compatibles con los

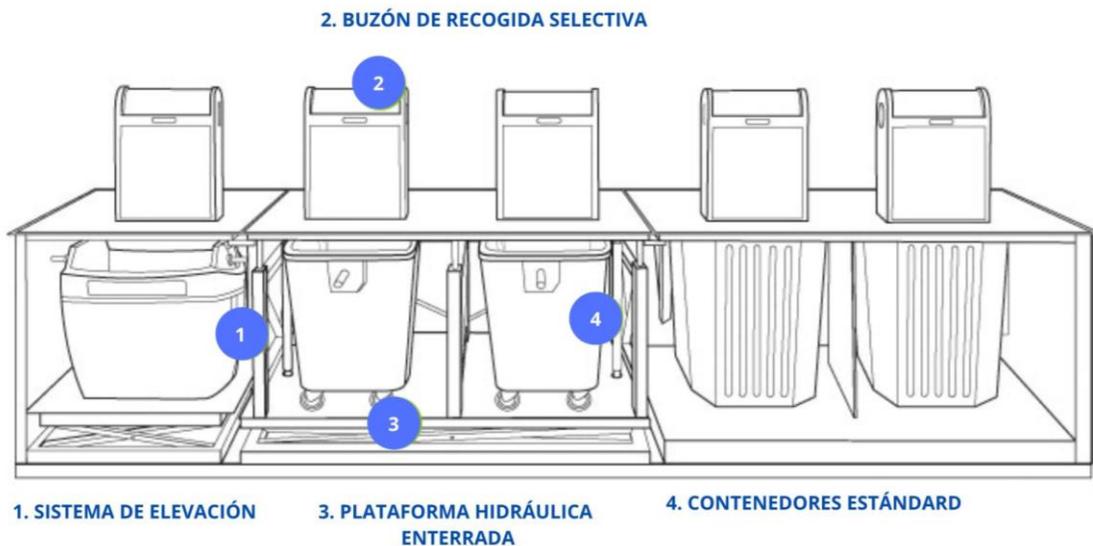
actuales sistemas de recogida de residuos. Se entierran los contenedores de superficie tradicionales, que serán elevados hasta la superficie para su vaciado como cualquier otro contenedor convencional [52].

Ilustración 8. Sistemas de un soterrado



Fuente: Formato verde.

Ilustración 9. Anatomía de un soterrado



Fuente: Formato verde

2.4.3.3 Ventajas implementación de contenedores soterrados

Sin duda, una de las ventajas más destacadas de usar contenedores soterrados en la gestión de residuos es la mejora en la higiene urbana. Estos contenedores están

diseñados para reducir la exposición de los residuos a la superficie y al entorno circundante, lo que tiene varios beneficios relacionados con la higiene [53]:

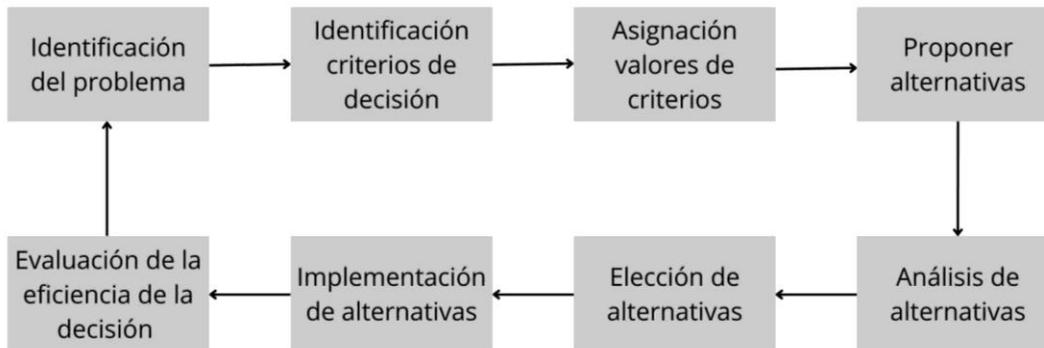
- **Reducción de Olores:** Al mantener los residuos resguardados bajo tierra, se minimiza la emisión de olores desagradables que pueden ser perjudiciales para la calidad del aire y el bienestar de las personas.
- **Prevención de plagas:** Los contenedores soterrados dificultan el acceso de animales, como roedores e insectos, a los residuos, lo que reduce la proliferación de plagas y enfermedades relacionadas con ellas.
- **Menor Contaminación Ambiental:** Al evitar la exposición de los residuos a la intemperie, se reduce la posibilidad de contaminación del suelo y el agua por lixiviados y productos químicos presentes en la basura.
- **Aspecto Visual Mejorado:** La estética urbana se beneficia al ocultar los residuos bajo tierra, lo que crea un entorno más limpio y agradable para los residentes y visitantes de la ciudad.
- **Reducción de la Transmisión de Enfermedades:** La gestión más higiénica de los residuos disminuye el riesgo de propagación de enfermedades transmitidas por vectores, como moscas y ratas.
- **Mayor Seguridad Sanitaria:** La mejora en la higiene urbana contribuye a un ambiente más saludable en el que las personas pueden vivir y trabajar con mayor seguridad y comodidad.

2.5 LOCALIZACIÓN Y TOMA DE DECISIÓN

La localización de una instalación implica el proceso de elegir un lugar geográfico entre varios disponibles para llevar a cabo las operaciones de una empresa. En este contexto, la toma de decisiones estratégicas es esencial para determinar la ubicación óptima [54].

La toma de decisiones se ha caracterizado comúnmente como la selección de una opción entre varias posibles. Sin embargo, para hacer esta elección de manera precisa, es esencial seguir un enfoque metódico que garantice la eficiencia en el proceso de toma de decisiones [55]. El proceso de toma de decisión se muestra en la Ilustración [10].

Ilustración 10. Etapas en el proceso de decisiones



Fuente: Metodología para la toma de decisiones

La toma de decisiones con estas características implica que el tomador de decisiones esté al tanto de todos los posibles resultados de las alternativas considerando un contexto de certidumbre al abordar el problema de decisión [56]. Esto significa que el decisor tiene una comprensión completa y precisa de las consecuencias de cada alternativa, lo que facilita la elección informada en un entorno donde no existen incertidumbres o riesgos asociados a las consecuencias de sus decisiones.

No obstante, es importante resaltar que la calidad de los resultados de las alternativas propuestas depende directamente de cómo los datos son interpretados e introducidos para describir el problema de decisión [57]. La precisión y la objetividad en la recopilación y el análisis de los datos, así como la forma en que se definen los criterios y se asignan los valores a las alternativas, juegan un papel crítico en la toma de decisiones bajo condiciones de certidumbre. Una interpretación precisa y una introducción cuidadosa de los datos son esenciales para que el proceso de toma de decisiones sea efectivo y conduzca a resultados óptimos. El proceso de toma de decisiones se clasifica en tres tipos de entornos [58]:

- **Toma de decisión bajo certidumbre:** Todos los datos son conocidos y bien definidos por el decisor. Se conocen todas las alternativas, los posibles resultados del proceso de la toma de decisión y del planteamiento del problema.
- **Toma de decisión bajo riesgo:** Se conocen las posibles alternativas, pero los posibles resultados pueden mostrarse de distintas maneras. Los datos pueden describir con distribuciones de probabilidades, por lo tanto, se trataría de un problema estocástico y apto de ser probado.
- **Toma de decisión bajo incertidumbre:** Se conocen las alternativas, pero los posibles resultados pueden mostrarse de distintas maneras, también no se trataría de un problema de probabilidad ya que se desconoce totalmente

la ley de probabilidad por la que se rige. Tampoco los datos podrán ser asignados a pesos y factores de ponderaciones.

La toma de decisiones desempeña un papel crítico en la investigación, ya que orienta la definición de los objetivos y el diseño del estudio, la selección de métodos de investigación, la recopilación y análisis de datos, así como la presentación de resultados.

La toma de decisiones en la localización se refiere a la elección deliberada de un lugar específico para una actividad o un recurso, como una instalación, un negocio o un punto de recolección de residuos, con el objetivo de optimizar ciertos criterios. Puede aplicarse en diversas áreas, incluyendo la logística, el marketing, la gestión de operaciones y la planificación urbana, entre otras. En las decisiones sobre la localización, se deben elegir entre múltiples sitios, generalmente basándose en criterios que abarcan cuestiones de costo, rentabilidad, tiempos de respuesta, cercanía a determinados lugares u otros factores específicos de la empresa o actividad en cuestión [54].

La importancia de las decisiones de localización de instalaciones se fundamenta en dos razones principales [54]: En primer lugar, estas decisiones implican una asignación significativa de recursos financieros a largo plazo, ya que las instalaciones suelen ser costosas, especialmente cuando se trata de plantas de fabricación sofisticadas. Por otro lado, estas decisiones son de naturaleza inflexible, ya que comprometen a la empresa durante un período prolongado. No obstante, en algunos casos, la empresa puede optar por instalaciones menos costosas o considerar la opción de alquilarlas, lo que brinda mayor flexibilidad a esta decisión. En segundo lugar, estas decisiones tienen un impacto significativo en la capacidad competitiva de la empresa, la localización no solo afecta al área de operaciones, sino también a otras funciones dentro de la empresa, como la comercial, la de recursos humanos, la financiera, entre otras.

Para lograr un buen punto de localización se debe tener en cuenta ciertos puntos claves, entre los cuales se encuentran [59]:

- **Expandir una instalación existente:** Esta alternativa sólo podrá ser viable si hay espacio suficiente disponible. Puede resultar una opción atractiva cuando la ubicación actual cuenta con características altamente favorables o deseables para la empresa. Por lo general, esta decisión conlleva costos menores en comparación con otras opciones, especialmente si la expansión se consideró desde el inicio al establecer la instalación original.

- **Añadir nuevas instalaciones en nuevos lugares:** En ocasiones, esta alternativa puede ser más beneficiosa que la anterior, especialmente cuando la expansión conlleva problemas de excesiva capacidad o desviación de los objetivos operativos. En otros casos, puede ser la única opción viable. En cualquier situación, es esencial evaluar el impacto que esta decisión tendrá en el sistema general de instalaciones de la empresa.
- **Cerrar instalaciones en algún lugar y abrir otra(s) en otro(s) sitio(s):** Esta alternativa puede dar lugar a costos significativos, por lo que la empresa deberá realizar una comparación exhaustiva entre los beneficios potenciales de la reubicación y los que se obtendrían al mantenerse en la ubicación actualmente ocupada. Es fundamental evaluar detenidamente si los costos involucrados en la relocalización se justifican en función de las ventajas esperadas en el nuevo lugar.

Decisiones bien fundamentadas garantizan la calidad y validez de la investigación, mientras que decisiones inadecuadas pueden comprometer su fiabilidad y utilidad. Además, la ética y la integridad se ven reflejadas en las decisiones relacionadas con el tratamiento de los participantes y la gestión de conflictos de interés.

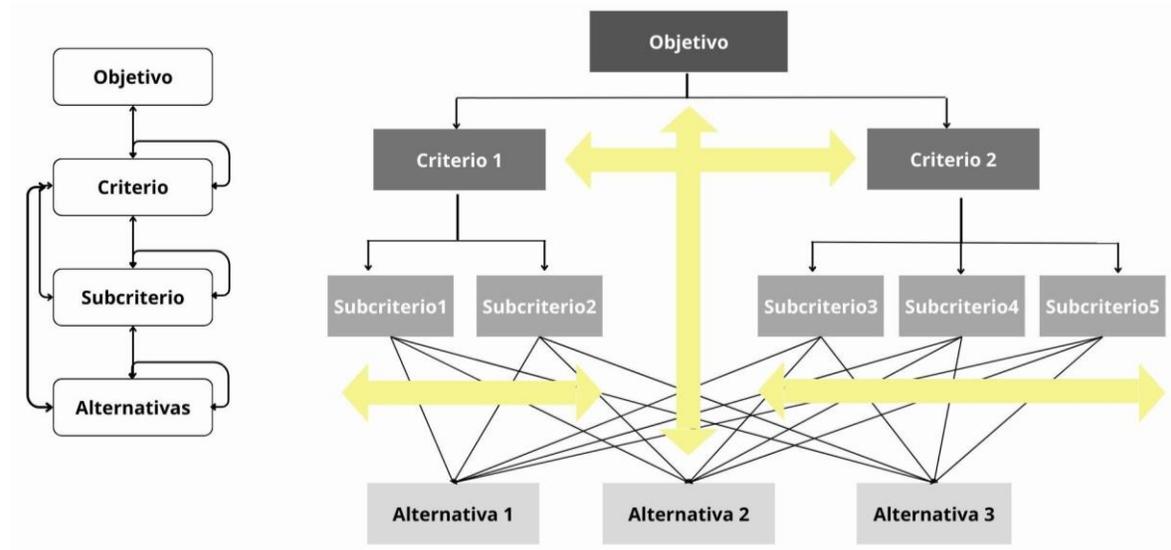
2.6 ANALYTIC NETWORK PROCESS (ANP)

El ANP, o Proceso Analítico en Red, es una metodología avanzada de toma de decisiones que se ha desarrollado como una evolución del AHP (Proceso de Jerarquía Analítica). Su mayor complejidad y flexibilidad lo distinguen del AHP. A diferencia del AHP, que se enfoca principalmente en la descomposición jerárquica de un problema en una estructura de árbol, el ANP permite una representación más realista y completa al considerar las complejas relaciones de interdependencia y retroalimentación entre todos los elementos, ya sean criterios o alternativas [60].

El ANP se ha convertido en una herramienta valiosa en situaciones donde las relaciones entre los elementos desempeñan un papel fundamental en la comprensión de los problemas y la selección de soluciones óptimas. Además, el ANP es especialmente útil en contextos complejos, como la toma de decisiones empresariales, planificación urbana, gestión de proyectos y otros ámbitos en los que las interconexiones y retroalimentaciones son esenciales para una toma de decisiones efectiva. En la Ilustración [11] se muestra una representación visual que ilustra cómo los elementos se relacionan en el método ANP dentro de la estructura

jerárquica del AHP, lo que ayuda a apreciar las diferencias clave entre estas dos metodologías.

Ilustración 11. Relación entre elementos en ANP en la estructura jerárquica ANP



Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitaria Politécnica de València

El ANP presenta una estructura compuesta por varios componentes, que a menudo se denominan nodos o clústeres como se puede apreciar en la ilustración [56]. La conexión entre los componentes se denomina interdependencia, y se refiere a cómo estos componentes se influyen mutuamente en el proceso de toma de decisiones [61]. Cada uno de estos componentes contiene una serie de elementos que están agrupados y relacionados entre sí:

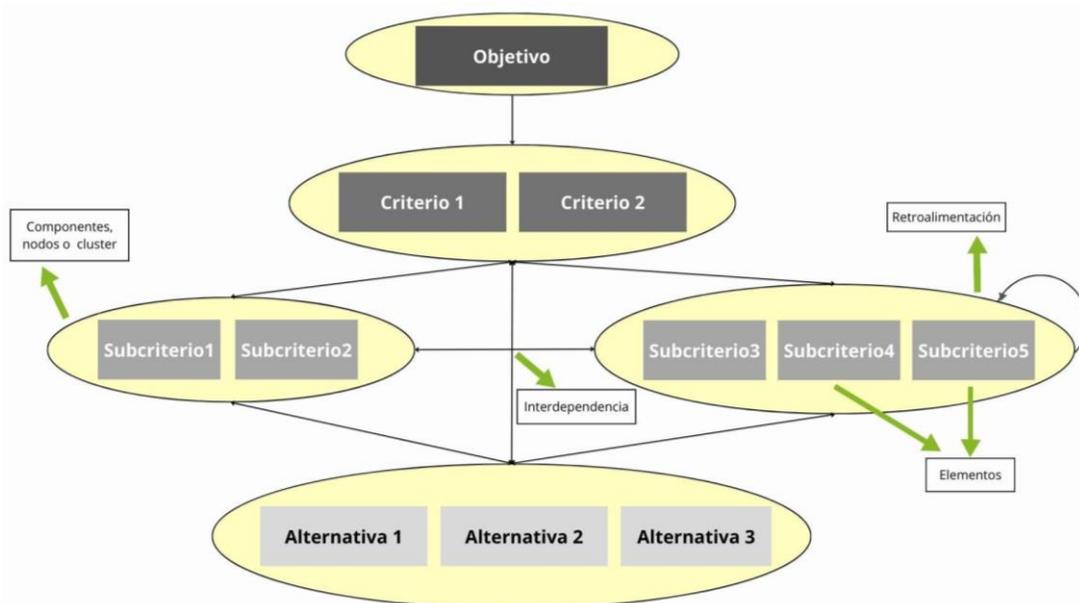
- **Objetivo:** El objetivo, en el contexto del ANP, es el punto focal que guía todo el proceso de toma de decisiones o resolución de un problema. Es la declaración clara de lo que se espera lograr y proporciona dirección a todas las acciones y evaluaciones subsiguientes. Un objetivo puede ser cualitativo o cuantitativo, dependiendo de la naturaleza del problema, y suele estar vinculado a los valores, necesidades o metas fundamentales de las partes interesadas. La descomposición del objetivo en criterios y subcriterios es una parte esencial del proceso de modelado en ANP. Esto se hace para desglosar el objetivo general en componentes más manejables y específicos que permiten una evaluación más detallada y precisa.

- **Criterios:** Los criterios para la localización se refieren a los factores, condiciones o estándares específicos que se utilizan para evaluar y decidir la ubicación más adecuada para una empresa, proyecto, instalación o cualquier otro tipo de actividad. Estos criterios son fundamentales para tomar decisiones informadas sobre dónde establecer una operación o llevar a cabo un proyecto. La importancia de los criterios para una óptima localización radica en su capacidad para influir directamente en la eficiencia operativa, la satisfacción del cliente, la competitividad y la sostenibilidad. La elección de una ubicación estratégica puede optimizar costos, reducir tiempos de transporte, atraer clientes, cumplir con regulaciones y normativas, minimizar el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida de una comunidad. Además, una vez establecida, la ubicación puede ser costosa de cambiar, lo que resalta la necesidad de una cuidadosa consideración de los criterios desde el principio para evitar problemas y costos adicionales en el futuro.
- **Subcriterios:** Los subcriterios son subdivisiones altamente especializadas de los criterios, y su función es descomponer los criterios en componentes aún más minuciosos que se utilizan para evaluar y analizar las alternativas de manera precisa y específica. Estos subcriterios constituyen el nivel de granularidad más fino en el proceso de evaluación, lo que permite medir aspectos particulares y detallados del problema o de la toma de decisiones. Su inclusión en el modelo ANP resulta esencial para una evaluación exhaustiva que tenga en cuenta los matices y las sutilezas inherentes al problema en cuestión, lo que, a su vez, facilita la identificación de la alternativa óptima.
- **Alternativas:** Las alternativas desempeñan un papel fundamental en el proceso de toma de decisiones dentro de la metodología ANP. Estas representan una gama de opciones o soluciones disponibles para lograr el objetivo deseado, y pueden abarcar diversos enfoques, estrategias, productos o acciones. La evaluación de las alternativas es esencial, ya que permite comparar de manera sistemática los cursos de acción posibles en función de los criterios y subcriterios establecidos, con el fin de identificar cuál de estas opciones se ajusta de manera más precisa a las necesidades y objetivos del problema en consideración. La selección de la alternativa óptima implica un proceso analítico y objetivo que garantiza la elección informada de la solución que mejor satisface los requerimientos y restricciones del contexto.

Por otro lado, la retroalimentación se define a través de las relaciones entre los elementos que se encuentran dentro del mismo componente. Estas relaciones de

retroalimentación permiten capturar la influencia recíproca y las interacciones entre los elementos del mismo grupo, lo que agrega una capa adicional de complejidad y realismo en la representación de los problemas y la toma de decisiones. El ANP es especialmente valioso en situaciones en las que estas interconexiones y realimentación son fundamentales para comprender y abordar cuestiones complejas como se muestra en la Ilustración [12].

Ilustración 12. Estructura ANP



Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitaria Politécnica de València

2.6.1 Ventajas de Analytic Network Process (ANP)

La metodología ANP ofrece una ventaja significativa frente a las limitaciones de la metodología AHP, que se manifiestan de diversas maneras. Algunos aspectos a considerar son [56]:

- Presenta más ventajas que otras técnicas de decisión, como el DEA, Expert System, Goal Programming, etc.
- Su estructura mejora la comprensión de gestión y la transparencia de la técnica, tampoco es complicado desarrollar el modelado.
- Los criterios cualitativos y cuantitativos pueden ser introducidos en el problema de decisión.
- Puede resultar valiosa para ayudar a múltiples partes (partes interesadas o Stakeholders) a llegar a una solución común debido a su estructura, y si es

implementado adecuadamente, puede utilizarse como una herramienta de consenso.

2.7 SOFTWARE SUPERDECISIONS

El software SuperDecisions implementa el Proceso de Red Analítica (ANP) para la toma de decisiones, un marco metodológico desarrollado por Thomas L. Saaty [62]. Esta metodología proporciona una estructura poderosa para la toma de decisiones multicriterio (MCDM) al permitir la modelación de relaciones interdependientes y retroalimentación entre elementos de decisión. Este programa permite definir criterios cualitativos y cuantitativos, asignar pesos a los criterios para reflejar su importancia relativa, modelar relaciones entre los criterios y las alternativas, y generar resultados que ayudan a identificar las alternativas preferidas. Es una herramienta versátil utilizada en una amplia variedad de aplicaciones, desde la planificación estratégica y la gestión empresarial hasta la toma de decisiones en políticas públicas y proyectos de localización, donde se requiere un análisis detallado y sistemático para tomar decisiones informadas y efectivas.

CAPITULO 2. PUESTA EN MARCHA

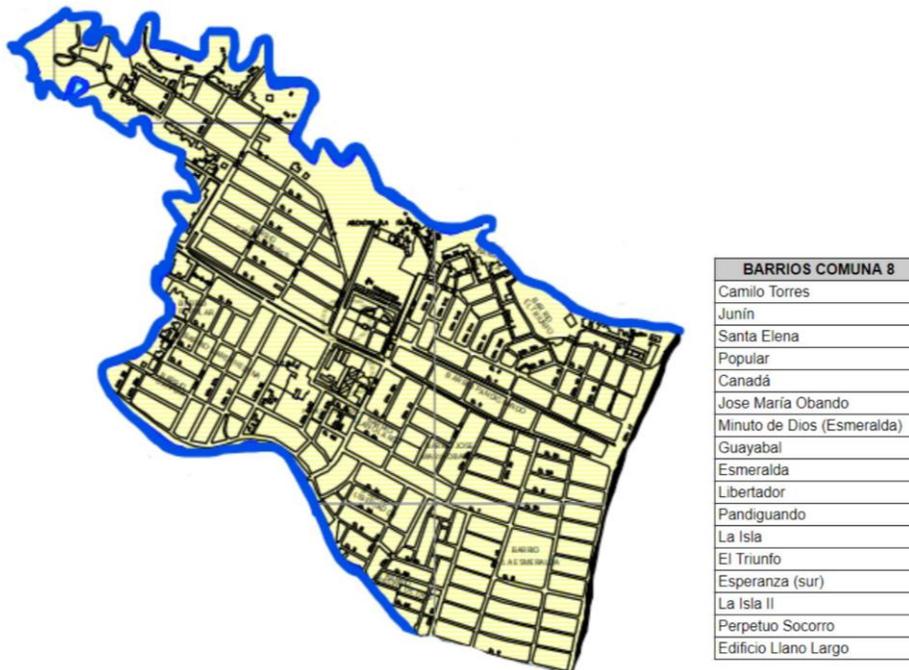
3. DESARROLLO Y RESULTADOS

3.1 PARTE I: IDENTIFICAR LAS ÁREAS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PLAZA DE MERCADO LA ESMERALDA Y ANALIZAR LA DEMANDA DE CONTENEDORES EN CADA ZONA

3.1.1 Caracterización barrio La Esmeralda

La comprensión de la importancia del barrio La Esmeralda y la Plaza de Mercado La Esmeralda en la ciudad de Popayán requiere un conocimiento previo de su ubicación geográfica y su contexto demográfico. La Comuna 8, situada en la parte occidental de la ciudad, se destaca como una de las comunas más densamente pobladas, con 17 barrios, 201 manzanas, 4.625 viviendas y una población de 23.125 habitantes. En su mayoría, las viviendas pertenecen al estrato 3, representando un 88% de la composición, mientras que el resto corresponde a los estratos 1 y 2, según datos proporcionados por la Alcaldía Municipal de Popayán. Entre estos barrios se encuentra La Esmeralda, donde se ubica la Plaza de Mercado La Esmeralda, un punto clave en el desarrollo económico y social de la comuna. La Ilustración [13] brinda una representación visual de la Comuna 8 y la distribución de sus barrios.

Ilustración 13. Comuna 8

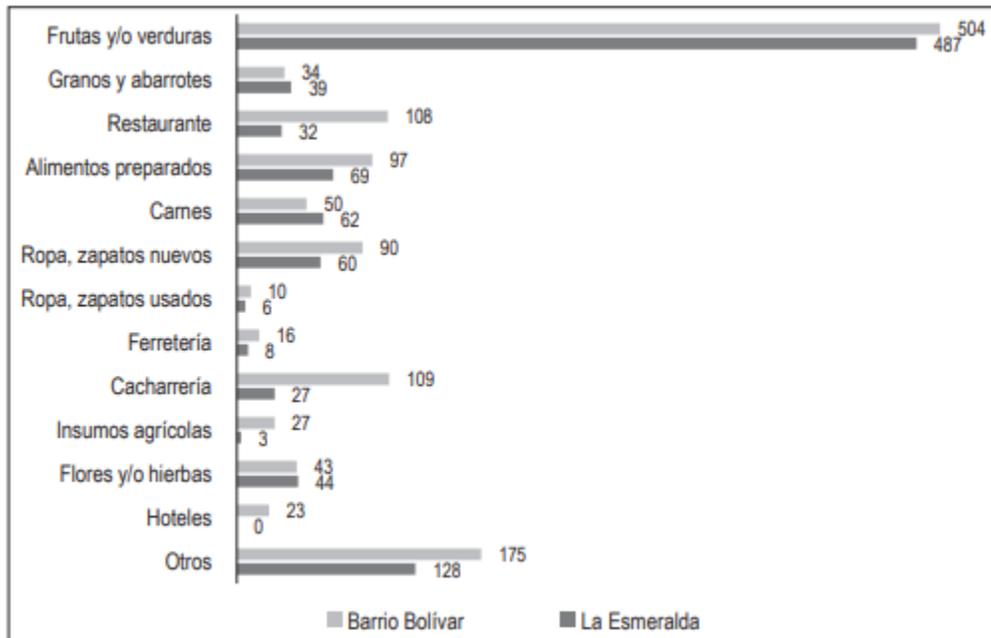


Fuente: Secretaría de planeación municipal, 2002.

La Esmeralda, fundada en 1960, es uno de los barrios más emblemáticos y diversos de Popayán, capital del departamento de Cauca. A lo largo de los años, este barrio ha evolucionado para convertirse en un punto de encuentro vital donde se lleva a cabo una variada gama de actividades comerciales. En La Esmeralda, el comercio de productos agropecuarios frescos y diversos es una parte fundamental de su identidad, abarcando desde alimentos hasta artículos de uso doméstico. Actualmente, este barrio alberga aproximadamente a 1.023 comerciantes que proveen una amplia variedad de productos a toda la comunidad del sector occidental de Popayán [53]. Estas actividades comerciales desempeñan un papel crucial en la dinámica económica y cultural de la zona, y representan una fuente importante de empleo e ingresos para los habitantes locales.

En la Ilustración [14] se evidencia claramente que la actividad económica predominante en La Esmeralda es la comercialización de frutas y verduras, lo que subraya la importancia de esta plaza como un punto de abastecimiento clave para productos frescos en la comunidad. Esta actividad es seguida de cerca por la categoría de "otros establecimientos", que podría incluir una amplia variedad de negocios y servicios. En tercer lugar, encontramos la comercialización de alimentos preparados, lo que indica que la oferta gastronómica también juega un papel significativo en la dinámica económica del barrio.

Ilustración 14. Número de establecimiento por actividades económicas



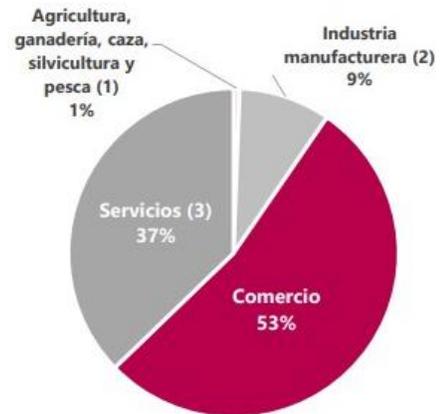
Fuente: Variables asociadas al comportamiento de los ingresos por ventas en las principales plazas de mercado de Popayán, Colombia.

A lo largo de los años, las plazas han experimentado cambios y han dado lugar a una cultura en la que, además de las actividades comerciales, también se han convertido en espacios de debate sobre temas relevantes en Colombia [63]. A lo largo del tiempo, la Plaza de Mercado La Esmeralda en Popayán ha experimentado cambios y desarrollo continuo, influenciados por la presencia del comercio informal y el aumento de la población migrante en la ciudad. Además, su posición geográfica en la parte central-sur de la ciudad ha asegurado una demanda constante de productos esenciales por parte de los barrios menos acomodados económicamente en la capital [53].

Las estadísticas proporcionadas por el boletín técnico del DANE revelan datos fundamentales sobre la economía y el empleo en Popayán. Según estos datos, el sector del comercio constituye aproximadamente el 53% de los ingresos anuales de los micronegocios en la ciudad. Sin embargo, lo que es aún más notable es que dentro de este sector de comercio, el empleo informal desempeña un papel significativo, representando el 59% de la fuerza laboral en Popayán. Este hecho coloca a la ciudad en la quinta posición entre las ciudades colombianas con la mayor proporción de empleo informal. Estos números reflejan la importancia de comprender la dinámica del empleo informal en Popayán y su impacto en la economía y la vida de sus habitantes ver Ilustración [15] y [16].

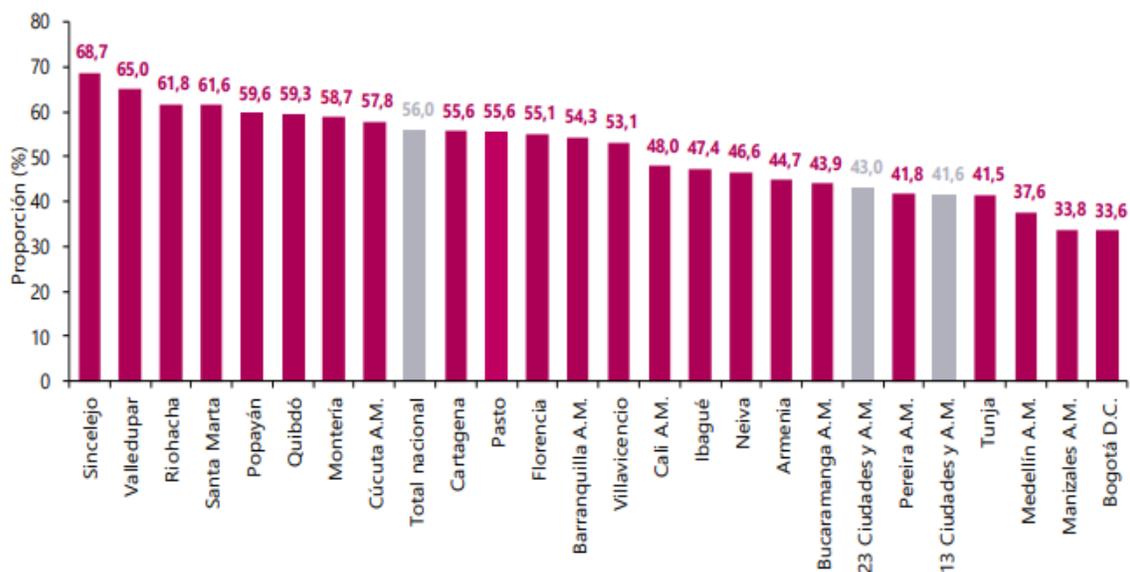
Ilustración 15. Ingresos anuales de los micronegocios por actividad económica

| Actividad económica | Total |
|--|----------------|
| Total | 730.940 |
| Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (1) | 4.301 |
| Industria manufacturera (2) | 65.705 |
| Comercio | 388.852 |
| Servicios (3) | 272.081 |



Fuente: DANE, 2019

Ilustración 16. Proporción de la población ocupada informal según ciudades Total nacional



Fuente: DANE, 2019.

Es esencial destacar que los desafíos y problemas que afectan a los alrededores de La Esmeralda no se limitan exclusivamente a este barrio en particular. Más bien, esta problemática se ha extendido por toda la Comuna 8 de Popayán. A pesar de su vitalidad y su significativa contribución económica y social, la Comuna 8 enfrenta retos significativos, tales como la invasión del espacio público, la gestión inadecuada de los residuos sólidos, la propagación de enfermedades, la presencia de personas en situación de indigencia y problemas de seguridad [64]. A pesar de

estos obstáculos, en el interior de la plaza se mantiene una variada oferta de productos que incluye víveres, frutas y alimentos típicos de la región, consolidándose como un punto de referencia en la vida de la comunidad de Popayán.

Para lograr una caracterización completa de la zona, resulta fundamental tener en cuenta la gestión de residuos en el área en cuestión. La manera en que se gestionan los residuos ofrece una perspectiva valiosa que abarca aspectos clave, tales como la planificación urbana, la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida de los residentes. En este contexto, se destaca la importancia de incluir una entrevista con los directivos de Urbaser, la empresa encargada de la gestión de residuos en la ciudad. La recopilación de información durante esta entrevista se revela como un elemento importante para lograr una comprensión profunda de los procesos y estrategias implementados en la gestión de residuos a nivel local. La participación directa de los directivos permite obtener perspectivas específicas y datos clave que contribuirán significativamente a un análisis completo de la gestión de residuos en la localidad, proporcionando así una base sólida para la evaluación de prácticas actuales, desafíos y posibles áreas de mejora.

3.1.2 Caracterización del servicio de recolección

Recolección

En la galería La Esmeralda, se recolectan actualmente según la empresa prestadora del servicio Urbaser, un total de 6 toneladas de residuos al día, tres toneladas recogidas en la mañana y las otras tres toneladas en la noche. El proceso de recolección en esta zona opera en un horario regular tanto diurno como nocturno, con horarios específicos para cada intervalo. Esta frecuencia de recolección es esencial para gestionar eficazmente la alta generación de desechos en esta zona comercial y mantener la limpieza en el área. La recolección se realiza dos veces al día, todos los días de la semana, y se distribuye como se muestra en la Tabla [3]:

Tabla 3. Horarios de recolección

| Cantidad residuos | Jornada | Horario |
|-------------------|----------|---------------------|
| 3 Toneladas | Diurno | 10:30 am - 11:00 am |
| 3 Toneladas | Nocturno | 6:00 pm - 7:00 pm |

Fuente: Elaboración propia

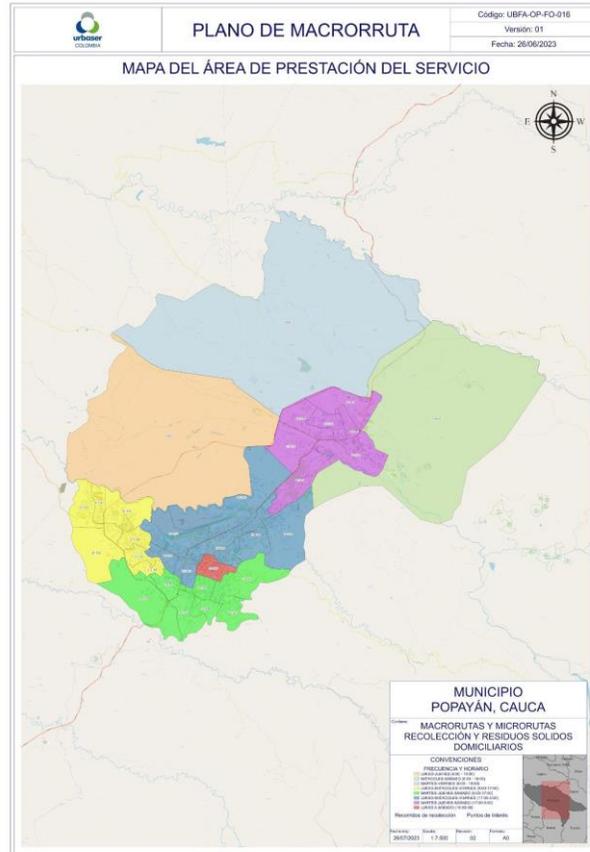
Es fundamental tener en cuenta que el municipio de Popayán está dividido en 8 convenciones, y cada una de ellas tiene horarios específicos para la recolección de residuos. Por lo tanto, esta diversidad de horarios es esencial para garantizar una recolección eficiente de los residuos en toda la ciudad, atendiendo las necesidades de diferentes áreas en momentos específicos del día evitando desbordamientos y problemas de higiene.

Por otra parte, se sigue un sistema organizado de rutas establecido por Urbaser en el municipio de Popayán. Este sistema se divide en dos niveles: macro rutas y micro rutas, diseñadas para áreas urbanas y rurales asegurando que todas las áreas de la ciudad reciban un servicio efectivo y oportuno. Actualmente, el municipio cuenta con 4 macro rutas urbanas y 3 rurales, lo que asegura una cobertura efectiva.

- Las macro rutas se refieren a la división de la ciudad en sectores operativos y determinan la asignación de vehículos recolectores a áreas específicas dentro de cada sector.
- Las micro rutas son recorridos específicos que se realizan a diario en áreas designadas, con el propósito de recoger los residuos de manera eficiente.

La empresa Urbaser cuenta con un sistema de nomenclatura específico para cada ruta, lo cual tiene como objetivo principal garantizar la eficiencia en la gestión de la recolección de residuos y diferenciar claramente entre las distintas rutas de recolección. Esta nomenclatura única se utiliza para identificar y asignar rutas específicas a áreas geográficas determinadas, lo que facilita la organización y seguimiento de los servicios de recolección de basura en la ciudad. Este enfoque sistemático es esencial para mantener un funcionamiento eficiente y un control adecuado de las operaciones de gestión de residuos. En el caso del sector de La Esmeralda, se sigue la microruta “33 11 53”, lo que significa que se realiza una ruta particular diariamente para recolectar residuos en esta área específica como se evidencia en la Ilustración [17].

Ilustración 17. Mapa rutas de prestación de servicios



Fuente: Urbaser

En el proceso de recolección de residuos en una ruta típica, la empresa asigna una tripulación específica para llevar a cabo las operaciones de manera eficiente. Esta tripulación se compone de un total de tres trabajadores que desempeñan roles clave en el proceso:

- **Conductor:** El conductor es el encargado de operar el vehículo recolector, siguiendo las rutas designadas para recoger los residuos. Además, se encarga de la seguridad y el cumplimiento de las normativas de tránsito durante la recolección.
- **Operarios:** El primer ayudante asiste al conductor en la recolección de residuos. Su función puede incluir la manipulación de los contenedores de basura, la comunicación con el conductor para indicar cuándo detenerse y recoger los residuos, y cualquier otra tarea necesaria para facilitar la operación.

La configuración de la tripulación, compuesta por un conductor y dos ayudantes, es esencial para garantizar un flujo de trabajo organizado y eficiente durante la recolección de residuos. La colaboración y coordinación entre los miembros del

equipo son fundamentales para cumplir con los horarios y rutas establecidos, lo que, a su vez, asegura una gestión efectiva de los desechos en la ciudad. A pesar de los diversos desafíos que enfrentan durante su jornada laboral, el trabajo de la tripulación es crucial para mantener la limpieza y el orden en la gestión de residuos en la comunidad. Parte fundamental de su responsabilidad es cumplir con las normativas y objetivos establecidos.

En la Tabla [4] se evidencia los requerimientos en cuanto al rendimiento que deben tener los operarios y el vehículo recolector.

Tabla 4. Requerimientos

| | Rendimiento |
|---------------------|--------------------|
| Operarios | 1.5 Ton/hora |
| Vehículo recolector | 3 Ton/hora |

Fuente: Elaboración propia

Esto se traduce a 3 Ton/h por dos operarios, con un tiempo estimado de 3h de llenado para camiones sencillos y 4h para camiones dobles. También es importante tener en cuenta que el tiempo de ida y regreso al parque de residuos se estima en dos horas, lo que asegura que se mantenga la gestión de residuos dentro de los estándares de calidad y eficiencia requeridos.

El sistema de recolección no es completamente manual ni completamente automatizado, sino que utiliza un enfoque semiautomatizado: Cuando se realiza el proceso, los operarios trasladan el contenedor donde se encuentra el vehículo recolector, el cual está equipado con un sistema de "lifter" en la parte trasera, que es una especie de dispositivo mecánico que levanta y vacía el contenedor depositando los residuos dentro carro recolector. Este enfoque semiautomatizado ayuda a facilitar la recolección de residuos al minimizar la carga de trabajo manual para los operarios y mejorar la eficiencia del proceso con un tiempo máximo de 1 minuto.

La empresa ha implementado un sistema de rotación de turnos para asegurar la cobertura durante todo el día en la recolección de residuos. Este enfoque permite que el personal esté disponible en diferentes momentos del día para llevar a cabo las rutas de recolección de manera continua, lo que es crucial para mantener la limpieza y la eficiencia en la gestión de residuos. Además, la gestión del descanso es esencial para su bienestar y salud, cada operario dispone de un período de

descanso de media hora en cada turno de trabajo, lo que les permite recuperar energías y mantener un rendimiento óptimo en la recolección de residuos.

La tripulación cuenta también con personal de apoyo clave para el seguimiento y coordinación de las rutas de recolección. Durante el día, se dispone de un total de cuatro supervisores, de los cuales tres están dedicados al trabajo de campo, supervisando las operaciones en terreno, y un cuarto supervisor se encarga de coordinar y supervisar la flota de vehículos. Estos supervisores desempeñan un papel fundamental en el aseguramiento de que las rutas se sigan de manera efectiva, los horarios se cumplan y se mantenga un alto nivel de eficiencia en el servicio.

La frecuencia de vaciado de los carros recolectores de residuos no sigue un horario predefinido, sino que depende de cuándo los vehículos alcanzan su capacidad máxima de llenado, una vez que los carros recolectores están llenos, se dirigen al relleno sanitario ubicado en las afueras de la ciudad asegurando una gestión eficiente de los residuos, evitando desbordamientos y optimizando los viajes al relleno sanitario. El relleno sanitario es el lugar designado para la disposición final de los residuos, donde se lleva a cabo su tratamiento y disposición de acuerdo con las regulaciones ambientales y de gestión de residuos.

En caso de que ocurra un incidente dentro de ruta de recolección, se ha establecido un sólido plan de contingencia para manejar incidentes y accidentes relacionados con sus vehículos de recolección. Este plan se activa en caso de cualquier emergencia para garantizar una respuesta rápida y eficiente. Además, para mejorar aún más la respuesta a incidentes y accidentes relacionados con los vehículos de recolección, la empresa cuenta con un equipo de profesionales dedicados a la seguridad y la salud en el trabajo (SST). Este equipo incluye a un líder de SST, un inspector y un médico, que desempeñan un papel fundamental en la gestión de situaciones de emergencia. Cuando ocurre un incidente, se sigue un procedimiento específico:

1. **Notificación:** El incidente se notifica de inmediato al supervisor de la ruta correspondiente. El supervisor actúa como el punto de contacto principal en esta fase.
2. **Coordinación Integral:** El supervisor coordina una respuesta integral que involucra a varios actores clave. Esto incluye la participación de la compañía de seguros para evaluar y abordar cualquier daño a los vehículos, abogados para manejar cualquier implicación legal y profesionales de la salud para prestar asistencia médica en caso de lesiones.

- Cumplimiento Legal:** La empresa tiene en cuenta que, por ley, deben restablecer el servicio de recolección de residuos en un plazo máximo de 4 horas. Para garantizar esto, mantienen un vehículo de guardia disponible en la base. Este vehículo está listo para cubrir la ruta afectada en caso de una emergencia, lo que asegura que el servicio pueda continuar sin interrupciones significativas.

Este enfoque integral y coordinado garantiza que, en situaciones de emergencia o accidentes, se tomen todas las medidas necesarias para abordar la situación de manera adecuada y en cumplimiento con la normativa legal. Además, la disposición de un vehículo de guardia demuestra el compromiso de la empresa de garantizar la continuidad del servicio, incluso en circunstancias imprevistas.

En el municipio de Popayán, la recolección de residuos reciclables se gestiona a través de diferentes asociaciones, actualmente están establecidas 6 de ellas en la ciudad. Estas asociaciones se encargan de llevar a cabo rutas de aprovechamiento de reciclaje en días específicos. La empresa Urbaser juega un papel fundamental al proporcionar los equipos y operarios necesarios para esta recolección, que incluyen un carro recolector, un conductor y un ayudante.

Contenedores

Los contenedores de residuos tienen dimensiones específicas que determinan cuánto espacio ocupan en la superficie. Las medidas de los contenedores se muestran en la Tabla [5]:

Tabla 5. Medidas de contenedores

| | |
|--------------|----------|
| Ancho | 108,5 cm |
| Largo | 137,2 cm |
| Alto | 131,5 cm |

Fuente: Elaboración propia

Estas dimensiones proporcionan una descripción precisa del tamaño de los contenedores, lo que puede ser útil al considerar la ubicación y disposición de estos contenedores en un espacio determinado. Así mismo tienen restricciones en cuanto a la cantidad y la forma en que se deben depositar los residuos en ellos, esto

significa que estos contenedores pueden albergar una cantidad considerable de residuos antes de que sea necesario su vaciado.

- **Capacidad:** Los contenedores tienen una capacidad de 1,100 litros, lo que significa que pueden albergar una cantidad considerable de residuos.
- **Restricción en la Forma de Depósito:** Para garantizar una gestión más ordenada y eficiente, se requiere que todos los desechos arrojados a estos contenedores estén dentro de una bolsa plástica, esto significa que los residuos deben estar contenidos en bolsas antes de ser depositados en el contenedor.

La capacidad de los contenedores es estática y no se puede aumentar mediante compactación interna, por tanto, se pueden depositar una amplia variedad de residuos, pero hay algunas excepciones.

Residuos Permitidos

- En general, la mayoría de los residuos pueden ser depositados en los contenedores proporcionados por la empresa.

Residuos Restringidos

- **Residuos de Construcción y Demolición (RCD):** Estos incluyen escombros, materiales de construcción, y otros desechos generados en obras de construcción y demolición.
- **Residuos Especiales (Respel):** Estos son residuos que debido a sus propiedades peligrosas o especiales requieren una gestión específica.
- **Residuos Peligrosos (RP):** Los residuos peligrosos contienen sustancias que pueden representar riesgos para la salud humana y el medio ambiente si no se manejan adecuadamente.
- **Residuos Biológicos:** Estos pueden incluir materiales biológicos y desechos médicos que requieren una gestión segura y específica.
- **Animales de más de 50 kg:** La disposición de animales grandes puede requerir procedimientos especiales debido a su tamaño y a consideraciones de salud pública.

Es importante que la comunidad y los usuarios de los contenedores estén informados sobre estas restricciones para evitar la disposición inapropiada de ciertos tipos de residuos. Además, es fundamental cumplir con las regulaciones ambientales y de gestión de residuos correspondientes para garantizar una gestión adecuada de los mismos.

En la actualidad, los contenedores instalados son estándar, no cuentan con un sistema interno de compactación y no permiten personalización en términos de información específica o identificación visual. No obstante, la empresa ha adquirido nuevos equipos más robustos con una capacidad de 770 litros, lo que ofrece una alternativa espaciosa para la recolección de residuos en espacios públicos.

En cuanto a la ubicación de contenedores en la zona de estudio, esta se divide en dos partes:

- **Interna:** Dentro de la plaza de mercado, actualmente existen dos contenedores; sin embargo, no están en servicio en este momento debido a la falta de UTB (Unidad de Transporte de Basura) y a las dificultades relacionadas con su uso por parte de la comunidad.
- **Externa:** En la parte externa de la galería, se encuentran ubicados tres contenedores de residuos que, aparentemente, están en funcionamiento y disponibles para la disposición de residuos por parte de la comunidad y los comerciantes. Es importante destacar que la falta de UTB y las dificultades en el uso de los contenedores dentro de la plaza de mercado pueden ser desafíos que necesitan ser abordados para mejorar la gestión de residuos en esa área.

La empresa proporciona servicios de mantenimiento regular para los contenedores de residuos, lo que garantiza su funcionalidad y durabilidad. El mantenimiento de los contenedores incluye lavado y la sustitución de piezas. Es importante destacar que:

- El lavado de los contenedores se realiza una vez al mes, lo que contribuye a mantenerlos limpios y en condiciones higiénicas adecuadas.
- La sustitución de piezas se lleva a cabo según sea necesario, lo que significa que cuando se identifica un problema o desgaste en alguna de las piezas, se realiza la sustitución correspondiente para mantener el contenedor en óptimas condiciones de funcionamiento.

Flota

La empresa Urbaser ha implementado un eficiente sistema de seguimiento basado en tecnología GPS llamado "Maps Connect" para mantener un control riguroso de las rutas de recolección de residuos, este sistema proporciona la capacidad de rastrear en tiempo real la ubicación de los camiones recolectores, asegurando un monitoreo constante de sus movimientos. Además, es una herramienta versátil que

no solo se limita a la ubicación de los vehículos, sino que también permite visualizar detalladamente las rutas específicas que deben seguir. Esto incluye información detallada sobre cómo acceder a áreas particulares, lo que contribuye a optimizar la eficiencia de todo el proceso de recolección de residuos.

La flota de recolección de residuos de la empresa Urbaser está compuesta por 13 carros. Esta flota es fundamental para llevar a cabo la recolección eficiente de residuos en la ciudad de Popayán y garantizar que se cumplan los horarios y rutas establecidos para mantener la limpieza y el orden en la gestión de residuos. En la flota de la empresa Urbaser en la ciudad de Popayán, existen dos tipos principales de vehículos recolectores:

- **Vehículos recolectores sencillos:** Estos vehículos tienen una capacidad de carga de aproximadamente 8 toneladas. Son adecuados para la recolección de residuos en áreas con una generación de desechos moderada.
- **Vehículos recolectores dobles:** Los vehículos dobles tienen una capacidad de carga mayor, aproximadamente 14 toneladas. Estos vehículos son ideales para la recolección de residuos en áreas con una generación de desechos más alta o en rutas que requieren una mayor capacidad de carga.

La disponibilidad de estos dos tipos de vehículos con diferentes capacidades de carga permite a la empresa adaptarse a las necesidades específicas de recolección de residuos en la ciudad. Estos varían en cuanto a su capacidad de carga, que depende del modelo y la categoría de los vehículos y asegura que se pueda realizar una recolección eficiente y oportuna, independientemente de la cantidad de residuos generados en una determinada área o ruta. La siguiente Tabla [6] proporciona una visión general de la flota de vehículos utilizada en el proceso de recolección de residuos en la ciudad de Popayán, teniendo en cuenta que todos cumplen con normativas ambientales y de seguridad vigentes.

Tabla 6. Tipo de flota

| MODELO | TIPO | | DESCRIPCION | CANTIDAD |
|--------------------------|----------|---|---|----------|
| Scania serie G | Sencillo | x | Altamente adaptables y cuentan con una gran maniobrabilidad y visibilidad. | 2 |
| | Doble | | | |
| Mercedes Benz | Sencillo | x | Combinación de capacidad de carga, sistemas de levantamiento y compactación, eficiencia en el consumo de combustible y características de seguridad. | 2 |
| | Doble | x | | 6 |
| Amplirroll Internacional | Sencillo | x | Estos camiones están diseñados con un sistema de gancho y brazo ampliroll que permite cargar y descargar contenedores de manera eficiente. Su capacidad de carga y manejo de contenedores los hace ideales para la recogida de residuos en contenedores grandes y su transporte a instalaciones de tratamiento o disposición final. | 2 |
| | Doble | x | | 1 |

Fuente: Elaboración propia

La gestión del mantenimiento de la flota de vehículos en Urbaser es un proceso bien estructurado y cuenta con un equipo especializado para su ejecución. El taller de mantenimiento de la empresa está equipado con profesionales dedicados a mantener los vehículos en condiciones óptimas de funcionamiento. En este taller trabajan un líder de mantenimiento, dos jefes de taller y siete mecánicos, todos ellos contribuyendo a la prevención y corrección de problemas mecánicos.

Es importante destacar que la empresa reconoce la importancia de la velocidad en la solución de inconvenientes, por lo que, si no es posible abordar un problema dentro del taller, se realiza la transferencia del vehículo al proveedor correspondiente para su reparación. Esta práctica garantiza que cualquier problema que no pueda ser manejado internamente se resuelva de manera eficaz y oportuna. Además, para asegurarse de que siempre haya disponibilidad de repuestos y componentes necesarios para el mantenimiento, Urbaser cuenta con su propio almacén. Este almacén almacena todos los repuestos requeridos para garantizar que los vehículos estén listos para operar de manera segura y eficiente en todo momento.

La frecuencia de mantenimiento y revisión de los vehículos de recolección es una parte crucial de garantizar que operen de manera eficiente y segura. Esta tarea se divide en tres tipos de mantenimiento, programados según la necesidad de los vehículos, y se llevan a cabo a intervalos específicos como se especifica en la Tabla [7].

Tabla 7. Tipos de mantenimiento

| Tipo | Descripción |
|------|-------------------------------|
| M1 | Cambio de aceites y filtros |
| M2 | M1 + sistema de freno (1000h) |
| M3 | M1+M2+ Cambio de llantas |

Fuente: Elaboración propia

Los intervalos de mantenimiento se basan en dos criterios principales: la distancia recorrida y el tiempo de uso. En este caso, los vehículos se someten a mantenimiento cada 5,000 kilómetros recorridos o después de 600 horas de uso. Esto permite mantener los vehículos en óptimas condiciones, reducir el desgaste y garantizar que funcionen de manera segura durante su vida útil.

Los vehículos de la flota cuentan con sistemas de seguridad que contribuyen a la prevención de accidentes y al resguardo de la seguridad del personal y peatones. Estos sistemas incluyen la instalación de dos cámaras, una ubicada en la parte delantera y otra en la trasera de los vehículos. Estas cámaras brindan una visión adicional al conductor, ayudando a mejorar la conciencia situacional durante la operación de reversa y en otros momentos críticos. Además de las cámaras, se ha implementado una sirena de retroceso en los vehículos, lo que aumenta la seguridad al alertar a las personas en las proximidades del vehículo cuando está en movimiento en reversa. Estas sirenas son dispositivos sonoros que emiten una señal de advertencia, lo que reduce el riesgo de colisiones accidentales. Asimismo, la mención de "licuadoras" sugiere la posibilidad de utilizar sistemas de señalización adicionales o luces giratorias para indicar que el vehículo se encuentra en funcionamiento. Estos elementos visuales mejoran la visibilidad del vehículo y alertan a los demás usuarios de la vía sobre su presencia.

Conforme a la normativa ambiental la empresa realiza controles exhaustivos de emisiones y eficiencia en el consumo de combustible en todos sus vehículos de recolección. Es importante destacar que algunos de los vehículos más recientes adquiridos han sido equipados con motores de categoría Euro 5, que cumplen con estándares de emisiones más estrictos y son más amigables con el medio ambiente. Un aspecto destacado de estos vehículos más nuevos es la implementación de un sistema de doble inyección de urea para reducir la emisión de gases contaminantes. La urea, en forma de amoníaco (NH₃), se utiliza en el proceso de reducción catalítica selectiva (SCR) para convertir óxidos de nitrógeno (NO_x) en nitrógeno y agua, que son sustancias mucho menos dañinas para el medio ambiente. Este

enfoque contribuye significativamente a la reducción de emisiones perjudiciales de los vehículos.

Operarios

Urbaser ha implementado un conjunto integral de medidas para garantizar la salud y el bienestar de sus trabajadores, con un enfoque en la prevención de lesiones causadas por el manejo de cargas pesadas. Estas medidas abarcan varios componentes esenciales, incluyendo aspectos de seguridad y salud en el trabajo (SST), políticas de cultura empresarial, consideraciones ambientales y enfoques conductuales de gestión de riesgos. El componente de SST se centra en identificar y mitigar los riesgos relacionados con el manejo de cargas pesadas, estableciendo protocolos de seguridad y proporcionando capacitación específica a los trabajadores para que puedan realizar sus tareas de manera segura y eficiente.

Además, la cultura empresarial de la empresa también desempeña un papel clave en la promoción de la seguridad y el bienestar de los empleados. La empresa promueve una cultura de seguridad en la que todos los trabajadores comprenden la importancia de seguir prácticas seguras y reportar cualquier incidente o problema en el lugar de trabajo.

Esto se refleja en un plan de capacitación integral que aborda cuestiones vitales, como la seguridad laboral, el manejo adecuado de residuos y el cumplimiento de las normativas ambientales. Este plan se lleva a cabo de manera regular, con sesiones de capacitación programadas semanalmente y dirigidas por la Universidad Corporativa, lo que asegura que los trabajadores reciban formación actualizada y especializada en estos campos. La capacitación se erige como un pilar fundamental para preparar y concienciar adecuadamente al personal en materia de seguridad laboral, manejo de residuos y cumplimiento de las regulaciones ambientales. Esto contribuye significativamente a mantener elevados estándares de calidad y seguridad en el proceso de recolección de residuos, reduciendo riesgos y garantizando que se cumplan las normativas de manera constante.

Además de la capacitación, la empresa se enfoca en la protección personal y el bienestar de sus empleados. Proporciona un conjunto completo de equipos de protección personal (EPP) y uniformes adecuados, que incluyen elementos esenciales como guantes, tapabocas, botas, monogafas y, para enfrentar las inclemencias climáticas, impermeables. El suministro de estos equipos de protección personal es crucial para minimizar riesgos y garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable. Los guantes protegen las manos de cualquier contacto no deseado con residuos peligrosos, los tapabocas y las monogafas resguardan las

vías respiratorias y los ojos de posibles partículas en suspensión, y las botas y los impermeables mantienen a los trabajadores secos y protegidos durante las condiciones climáticas adversas.

3.1.3 Identificación de las áreas con mayor generación de residuos sólidos en la plaza de mercado La Esmeralda y sus alrededores

A partir de la información obtenida por la caracterización de la zona y del servicio de recolección de residuos se obtienen seis puntos claves, en donde se identifican un mayor flujo de contaminación y presencia de plagas por el manejo inadecuado en la disposición de los residuos. A continuación, en las ilustraciones, se muestran los puntos clave hallados

Ilustración 18. Punto 1



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19. Punto 3



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20. Punto 4



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21. Punto 5



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22. Punto 6



Fuente: Elaboración propia

3.2 PARTE II: SELECCIONAR LOS CRITERIOS PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS SÓLIDOS

La selección de la zona de La Esmeralda, ubicada en los alrededores de la Galería La Esmeralda, para la implementación de contenedores se basa en diversos

factores que resaltan su idoneidad para abordar eficazmente la gestión de residuos en esa área específica. En primer lugar, la elección se fundamenta en el elevado flujo de personas que transitan por la zona, lo que implica una mayor generación de residuos. Asimismo, la alta producción de residuos en la zona es un factor determinante, lo que subraya la necesidad de una infraestructura eficiente para su manejo. Además, La Esmeralda es reconocida como uno de los principales puntos de abastecimiento de la ciudad, lo que resalta su importancia estratégica en términos de gestión de residuos. En conjunto, estos factores, sumados a su ubicación cercana a la Galería La Esmeralda, hacen de esta zona una elección lógica y necesaria para implementar contenedores soterrados que atiendan de manera integral a las demandas de recolección y manejo de residuos en ese entorno.

A partir de lo anterior, se propone el siguiente modelo de contenedores que atiendan de manera integral a las demandas de recolección y manejo de residuos en ese entorno. Este modelo se fundamenta en la elección estratégica de la zona de La Esmeralda, ubicada en los alrededores de la Galería La Esmeralda, y busca abordar eficazmente la gestión de residuos en esa área específica. Considerando el elevado flujo de personas, la alta generación de residuos y la importancia estratégica de la zona como punto de abastecimiento, se propone la implementación de un sistema hidráulico de contenedores soterrados (carga trasera). Este sistema no solo garantizará eficiencia operativa, sino que también contribuirá a mejorar la estética del entorno y a cumplir con los criterios fundamentales para una gestión sostenible y efectiva de los residuos urbanos en el contexto comercial de La Esmeralda.

Los contenedores soterrados hidráulicos con carga trasera ofrecen una solución eficiente para la gestión de residuos urbanos. El sistema Back, compatible con camiones y contenedores de carga trasera, está diseñado para soterrar de 1 a 4 contenedores. El proceso implica elevar la plataforma para posicionar los contenedores en la superficie, y una vez elevados al nivel de la acera, son extraídos rodando, similar a la recogida en superficie. Esta combinación de la conveniencia de la carga trasera con la eficacia del sistema soterrado garantiza una recolección efectiva y discreta de los desechos, mejorando así la gestión integral de residuos urbanos.

En este caso, se propone la utilización de cuatro sistemas soterrados para la gestión de residuos. Se plantea la instalación de tres sistemas, cada uno equipado con dos contenedores, como se ilustra en la Ilustración [23]. Además, se contempla la implementación de un sistema soterrado con un solo contenedor. Este diseño busca mejorar la eficiencia en la recolección y gestión de residuos al distribuir estratégicamente los contenedores en la zona identificada.

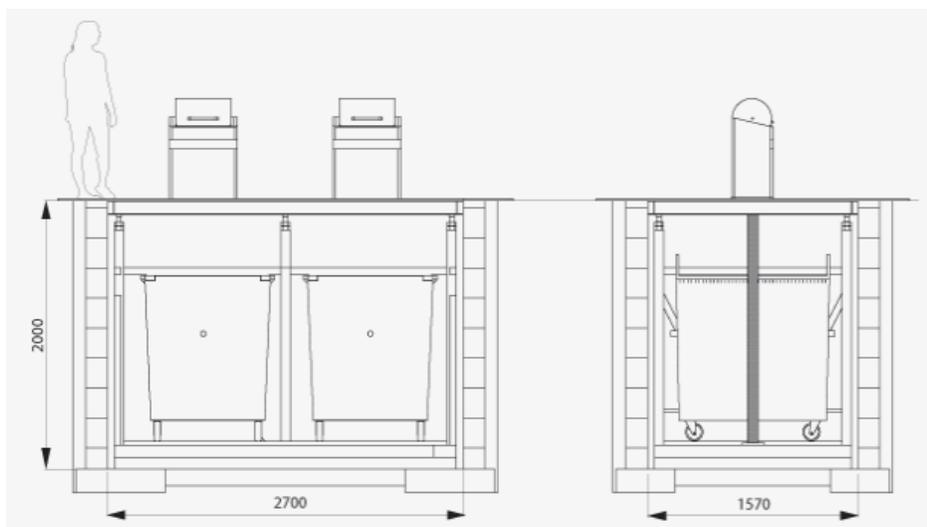
Ilustración 23. Contenedores soterrados Hidráulicos



Fuente: Formato verde

Los contenedores soterrados hidráulicos (carga trasera) presentan diversas especificaciones en cuanto a medidas y capacidad, como se muestra en la Ilustración [24] y la Tabla [8]:

Ilustración 24. Medidas contenedor soterrado



Fuente: Formato Verde

Tabla 8. Especificaciones de contenedores

| Especificaciones | |
|-------------------------|--------|
| Alto máximo | 2000 |
| Largo máximo | 2700 |
| Ancho máximo | 1570 |
| Tiempo d subida | 20 seg |
| Capacidad contenedor | 440 kg |

Fuente: Elaboración propia

La elección de la óptima localización para la implementación de contenedores se basa en una cuidadosa consideración de los criterios y subcriterios definidos, los cuales son seleccionados de acuerdo con el sistema de operación para la gestión de residuos de la empresa Urbaser. Esta información clave fue proporcionada por el gerente de operaciones y el supervisor de operación de la empresa. Además, los subcriterios fueron derivados de los indicadores utilizados en Urbaser, asegurando coherencia y alineación con las mejores prácticas en la gestión de residuos. Este esquema se diseña de manera meticulosa con el objetivo de llevar a cabo un análisis integral y ponderado, permitiendo tomar decisiones informadas y eficientes en la localización de los contenedores. La propuesta de criterios, subcriterios y alternativas fue presentada a los directivos de la empresa, quienes la aceptaron y respaldaron. Este respaldo por parte de los directivos valida la estructura propuesta para la evaluación y selección de ubicaciones de contenedores, estableciendo una base sólida para el proceso de toma de decisiones. La colaboración con expertos en operaciones de gestión de residuos contribuye a la robustez y relevancia de los criterios considerados en el proceso de selección de ubicaciones óptimas para los contenedores. Los criterios que se aplicaron para la determinación de las zonas óptimas para la ubicación de contenedores son:

Ubicación y accesibilidad

En la vida cotidiana es muy habitual la necesidad de desplazarse sobre el espacio geográfico para poder hacer uso de diversos servicios. Los trabajadores deben moverse de su domicilio a su lugar de trabajo, los estudiantes deben trasladarse a las escuelas, institutos o centros universitarios para recibir sus enseñanzas, los enfermos se desplazan hasta los centros de salud, etc [65]. En el contexto de la Galería La Esmeralda y sus alrededores, donde una diversa población transita, vive y trabaja, la organización y planificación de la disposición de contenedores de residuos es crucial para simplificar y optimizar los desplazamientos relacionados con la eliminación de desechos. Esto implica considerar cuidadosamente cómo

estos desplazamientos cotidianos, que afectan a la población en general, pueden ser más eficientes y convenientes. La ubicación de los contenedores, cerca de las zonas de mayor actividad y tránsito, reduce el esfuerzo, el gasto económico y el tiempo que las personas necesitan para deshacerse de sus residuos, contribuyendo así a una vida cotidiana más ordenada y sin complicaciones en esta área geográfica. Este criterio es fundamental en la toma de decisiones sobre dónde establecer una empresa, una instalación, un negocio o cualquier tipo de operación: la evaluación de la idoneidad de una ubicación en función de la facilidad de acceso tanto para los clientes como para los proveedores, empleados y otros actores clave [66].

El propósito del criterio de ubicación y accesibilidad en el proyecto de colocación de contenedores en los alrededores de la Galería La Esmeralda es situar estratégicamente los contenedores de modo que sean de fácil acceso tanto para los visitantes, comerciantes y el personal de recolección de residuos. Estos criterios se convierten en factores centrales que no solo mejoran la comodidad de los usuarios, sino que también aseguran el cumplimiento de las normativas de accesibilidad, optimizan la eficiencia de la recolección de residuos y fortalecen la imagen de la Galería como un lugar comprometido con la sostenibilidad y amigable con el entorno. Esta estrategia no solo promueve la satisfacción de los clientes, sino que también fomenta su compromiso con prácticas responsables y respetuosas con el medio ambiente, reforzando así la reputación de la Galería La Esmeralda en la comunidad y contribuyendo al éxito general del proyecto.

La ubicación de los contenedores en los alrededores de la Galería La Esmeralda debe cumplir con ciertas restricciones y consideraciones específicas para garantizar su eficacia y minimizar cualquier impacto negativo en el entorno. Estas restricciones pueden incluir la distancia mínima con respecto a áreas de alimentos, puntos de venta o zonas de alto tránsito, la conformidad con las regulaciones de accesibilidad y seguridad, la minimización de obstrucciones visuales, y la coordinación con el horario de recolección de residuos para evitar interferencias con las actividades de la galería y sus visitantes. El cumplimiento de estas restricciones es fundamental para mantener la limpieza, la comodidad y la seguridad en la zona, así como para garantizar una experiencia positiva para quienes interactúan con los contenedores y la galería en sí. A partir de la información, se establecen los siguientes subcriterios que son esenciales para determinar la ubicación y accesibilidad adecuada de contenedores en un sistema de gestión de residuos sólidos:

- Evaluación de la accesibilidad para vendedores, clientes y camión recolector.
- Identificación de las áreas de mayor tráfico de autos y flujo de personas para instalación de contenedores.

- Consideración de la distancia de los contenedores a los puestos de venta asegurando que la ubicación de los contenedores sea efectiva.

Capacidad instalada

La selección de los tipos y capacidades de contenedores a instalar en un sistema de gestión de residuos sólidos es un punto clave que influye significativamente en la eficiencia y la efectividad de todo el proceso. La elección adecuada no solo depende de la naturaleza de los residuos, el método de recolección, la frecuencia y el espacio disponible, sino que también tiene un impacto directo en la sostenibilidad, la calidad de vida de la comunidad y la gestión de recursos [67].

El criterio de "Capacidad instalada" se refiere a la determinación del tamaño y la capacidad máxima que deben tener los contenedores de residuos. Esta elección es crucial, ya que influye en la eficiencia de la gestión de residuos. Los contenedores deben tener una capacidad que se ajuste a la demanda de residuos generada en la zona para evitar desbordamientos y garantizar una recolección eficiente. Un equilibrio adecuado entre la capacidad instalada y la frecuencia de recolección puede reducir costos operativos y promover la sostenibilidad al minimizar el uso de recursos y la emisión de gases de efecto invernadero. La capacidad instalada también influye en la comodidad y la seguridad de la comunidad al mantener el entorno limpio y libre de desbordamientos, contribuyendo así a la calidad de vida en la zona.

La elección de la capacidad adecuada está directamente vinculada a la demanda de residuos, ya que debe satisfacer la cantidad de desechos producida por la comunidad o los negocios circundantes. Un equilibrio preciso entre la capacidad instalada y la demanda de residuos se traduce en una gestión de residuos eficiente y efectiva. Cuando los contenedores tienen la capacidad adecuada, se evitan desbordamientos que pueden resultar en un entorno desordenado y poco higiénico. Esto no solo mejora la calidad de vida de la comunidad al mantener las áreas limpias y seguras, sino que también reduce costos operativos al minimizar la necesidad de recolecciones frecuentes. Además, esta adecuación contribuye a la sostenibilidad al reducir el consumo de recursos y la emisión de gases de efecto invernadero. A partir de la información, se establecen los siguientes subcriterios que son esenciales para determinar la selección adecuada de las capacidades de contenedores en un sistema de gestión de residuos sólidos:

- Determinación de la cantidad promedio de residuos generados en la plaza de mercado.
- Selección del tamaño y capacidad de los contenedores soterrados en función de la cantidad de residuos generados diariamente.
- Establecer la frecuencia en la que se recolectarán los residuos del contenedor y cómo esta frecuencia se relaciona con su capacidad instalada.

Costos

La implementación de un proyecto de mejora trae consigo costos y beneficios, siendo un desafío enfrentar la necesidad de valorar esos costos y beneficios de la forma más objetiva posible para apoyar una mejor decisión respecto de implementar o no una iniciativa de mejora [68]. Evaluar minuciosamente los costos, que pueden incluir inversión inicial, recursos humanos, materiales y gastos operativos, es esencial para comprender la viabilidad financiera del proyecto. A su vez, es igualmente importante considerar los beneficios, como la mejora en la eficiencia operativa, la satisfacción del cliente, el cumplimiento de regulaciones y normativas, y la sostenibilidad. Al realizar una evaluación equilibrada de los costos y beneficios, se puede tomar una decisión informada que maximice el valor del proyecto y contribuya al éxito y la rentabilidad a largo plazo.

Este criterio no solo influye en la viabilidad financiera del proyecto, sino que también tiene un impacto directo en la sostenibilidad y la eficiencia de la gestión de residuos. Evaluar y controlar los costos de instalación, mantenimiento y recolección de contenedores es esencial para garantizar un uso eficiente de recursos y minimizar gastos innecesarios. Al optimizar los costos, el proyecto puede asignar recursos de manera más efectiva, lo que a su vez contribuye a la reducción del impacto ambiental y a la prestación de un servicio de gestión de residuos más rentable y sostenible para la comunidad.

Por otra parte, la interacción entre costos y demanda es crucial para lograr un equilibrio que garantice la eficiencia operativa y la sostenibilidad económica, ya que la demanda de residuos influye directamente en los costos asociados a su recolección y gestión. Un mayor volumen de residuos generará costos más elevados en términos de recolección, transporte y disposición final. Por lo tanto, al considerar la ubicación de contenedores, es fundamental evaluar la demanda específica de residuos en cada área para dimensionar correctamente la capacidad de los contenedores y planificar rutas de recolección eficientes. De esta manera, se pueden minimizar los costos operativos al evitar recolecciones innecesarias o frecuentes, lo que, a su vez, contribuye a la sostenibilidad del proyecto al reducir el consumo de recursos y la emisión de gases de efecto invernadero.

Basándose en la información previa, se definen los siguientes subcriterios que desempeñan un papel crucial en la evaluación de los costos asociados a los contenedores en un sistema de gestión de residuos sólidos:

- Evaluación de los costos iniciales para la compra e instalación de los contenedores.
- Planificación de los costos operativos a largo plazo que incluyen mantenimiento y limpieza.
- Evaluar la eficiencia de la recolección en función de la ubicación de los contenedores y la capacidad para minimizar costos operativos.

Diseño

Los contenedores de residuos sólidos son la piedra angular para la gestión efectiva de desechos en una comunidad. Detrás de cada contenedor se encuentra la historia de los residuos generados por la población local, y la eficacia de estos contenedores influye en la forma en que se manejan esos desechos [69].

El diseño de contenedores en el contexto de un proyecto de localización de contenedores es un elemento crítico que abarca diversos aspectos. Estos aspectos incluyen la forma, el tamaño, la resistencia, la capacidad, la accesibilidad y la estética de los contenedores. Un diseño bien pensado tiene el potencial de optimizar la recolección de residuos, mejorar la seguridad de los usuarios y los trabajadores de recolección, y contribuir a una apariencia limpia y ordenada del entorno urbano. La forma y el tamaño de los contenedores deben adaptarse a los tipos de residuos que se recolectarán, mientras que la resistencia y la capacidad deben ser adecuadas para soportar la carga de residuos sin desbordamientos ni daños. La accesibilidad es esencial para garantizar que los usuarios puedan depositar sus desechos de manera sencilla y segura, promoviendo así la participación activa de la comunidad en prácticas de disposición adecuadas.

Desde la durabilidad a largo plazo hasta la mejora de la gestión de residuos y la apariencia profesional, estos contenedores no sólo simplifican la tarea de mantener un entorno limpio y ordenado, sino que también contribuyen a la sostenibilidad y al ahorro de recursos [70]. Además, el diseño de los contenedores puede influir en la imagen general de la comunidad y su compromiso con la sostenibilidad. Contenedores limpios, bien mantenidos y visualmente atractivos pueden fomentar una mayor responsabilidad ambiental entre los residentes y visitantes

A partir de la información proporcionada anteriormente, se establecen los siguientes subcriterios que tienen una importancia fundamental en relación con el diseño de los contenedores en un sistema de gestión de residuos sólidos:

- Evaluar cómo el diseño de los contenedores soterrados se integra en el entorno urbano circundante, teniendo en cuenta la arquitectura.
- Determinación de la capacidad y tamaño adecuado en función de la cantidad de residuos y la frecuencia de recolección.
- Garantizar que el diseño tenga en cuenta la seguridad de los usuarios y la durabilidad de la infraestructura en diversas condiciones climáticas y de uso.

Tiempo de operación

El estudio de tiempos es una técnica utilizada para medir el tiempo de trabajo que ocupa cada proceso en la producción de un bien, además este tipo de técnica busca aumentar la productividad de las organizaciones, eliminando en forma sistemática las operaciones que no agregan valor al proceso y se constituye en la base para la estandarización de los tiempos de operación [71]

El tiempo de operación desempeña un papel crucial en la prestación de un servicio, ya que impacta en la eficiencia, la calidad y la satisfacción del cliente [72]. Una gestión eficaz del tiempo de operación permite optimizar los recursos, minimizar los tiempos de espera y maximizar la productividad. Esto se traduce en una mayor capacidad para cumplir con las expectativas de los clientes, brindar un servicio oportuno y competitivo, y reducir los costos operativos.

El tiempo de operación en la prestación de un servicio de recolección de basura es de suma importancia debido a varios factores cruciales. En primer lugar, la puntualidad en la recolección garantiza que los residuos no se acumulen en las calles, lo que podría provocar problemas de salud pública, atraer plagas y crear un entorno desordenado y poco atractivo. Además, el tiempo de operación eficiente permite cumplir con las regulaciones y normativas ambientales, lo que es esencial para mantener un entorno limpio y seguro.

Un servicio de recolección de basura oportuno también contribuye a la satisfacción de los ciudadanos, quienes valoran que sus desechos sean retirados de manera regular. Esto, a su vez, puede mejorar la percepción de la calidad de vida en una comunidad y fortalecer la satisfacción del cliente. La gestión adecuada del tiempo de operación reduce los costos operativos al minimizar el tiempo de viaje y el consumo de recursos, lo que es beneficioso tanto para la empresa de recolección como para la sostenibilidad ambiental.

Con base en la información previamente proporcionada, se definen los siguientes subcriterios que desempeñan un papel esencial en lo que respecta al tiempo de funcionamiento de los contenedores en un sistema de gestión de residuos sólidos:

- Tiempo de operación de contenedores soterrados al momento de realizar la recolección de residuos.
- Periodo de operación de rutas y operarios para la recolección de residuos.
- Considerar eventos especiales o festividades locales los cuales puedan aumentar la demanda en la generación de residuos sólidos y ajustar los horarios de recolección y operación en consecuencia.

Teniendo en cuenta los criterios y subcriterios establecidos, se procede a revisar la posible localización de los contenedores mediante un minucioso mapeo de la zona. Este proceso de cartografía permite identificar las alternativas de ubicación que se ajusten a los requisitos establecidos. Para llevar a cabo este proceso de mapeo, se utilizan herramientas de geolocalización y diseño asistido por computadora, como Google Earth y AutoCAD. Estas herramientas permiten la representación precisa de la geografía y la infraestructura de la zona, lo que facilita la identificación de los lugares más adecuados para la ubicación de los contenedores, contribuyendo a una toma de decisiones bien fundamentada y eficiente en la gestión de residuos.

Ilustración 25. Calles, Popayán Cauca



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26. Establecimientos zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

Las alternativas identificadas se transcriben en los puntos estratégicos que cumplen con los criterios predefinidos. Esta información se refleja claramente en la Figura [27], que proporciona una representación visual de las ubicaciones potenciales de los contenedores en la zona. En total, se han identificado seis opciones de ubicación, lo que permite una visión clara de las posibles alternativas y facilita la toma de decisiones informadas en la gestión de residuos en esta área específica.

Ilustración 27. Alternativas ubicación de contenedores



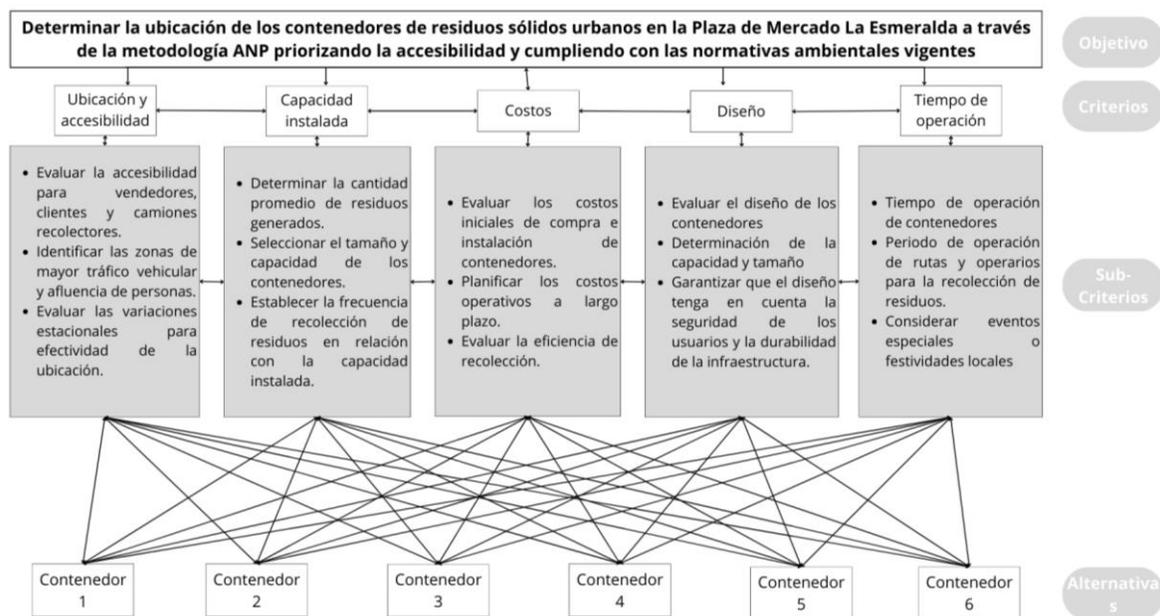
Fuente: Elaboración propia

Cumpliendo con los parámetros establecidos por la metodología ANP, se procede a la construcción del esquema. En el contexto de la óptima localización de contenedores, el diseño del esquema de la metodología ANP adquiere una

relevancia fundamental. Este esquema actúa como una guía estructurada para la identificación y jerarquización de criterios específicos, la asignación ponderada de importancia a cada elemento y la comparación sistemática de las alternativas de ubicación disponibles. La importancia radica en la organización y claridad que aporta al proceso de evaluación, permitiendo una toma de decisiones informada y coherente en la selección de las ubicaciones óptimas para los contenedores. Además, el esquema facilita la aplicación eficiente y consistente de la metodología ANP, contribuyendo a la reproducibilidad del análisis en situaciones similares y mejorando la calidad y confiabilidad de las decisiones en el ámbito de la gestión de residuos.

La Ilustración [28] proporciona una representación gráfica de la asignación ponderada de importancias a cada elemento, así como la comparación sistemática de las alternativas de ubicación.

Ilustración 28. Esquema ANP



Fuente: Elaboración propia

3.3 PARTE III: DESARROLLAR UNA MODELO MULTICRITERIO BASADO EN ANP PARA TOMAR DECISIONES SOBRE LA UBICACIÓN DE LOS CONTENEDORES.

Después de construir el esquema de evaluación siguiendo la metodología ANP, procedemos a introducir los datos en el software Superdecisions. Este paso es esencial para llevar a cabo un análisis cuantitativo y cualitativo de las ubicaciones propuestas, permitiéndonos asignar pesos y realizar una evaluación ponderada de acuerdo a los criterios y subcriterios previamente definidos.

La elección del software SuperDecisions para la metodología ANP se vuelve relevante y estratégica. Dado que la implementación de contenedores implica considerar múltiples criterios, como accesibilidad, generación de residuos, costos, y factores ambientales, la metodología ANP se utiliza para gestionar la complejidad y las interrelaciones entre estos aspectos.

SuperDecisions se convierte en una herramienta valiosa para este proyecto al ofrecer una plataforma especializada en la aplicación de la metodología ANP. La capacidad del software para modelar las interconexiones entre criterios, subcriterios y alternativas permite una evaluación exhaustiva de las ubicaciones potenciales de contenedores. Su interfaz intuitiva facilita el proceso de toma de decisiones al proporcionar una representación visual clara de la red de criterios y su impacto en la elección de ubicaciones óptimas.

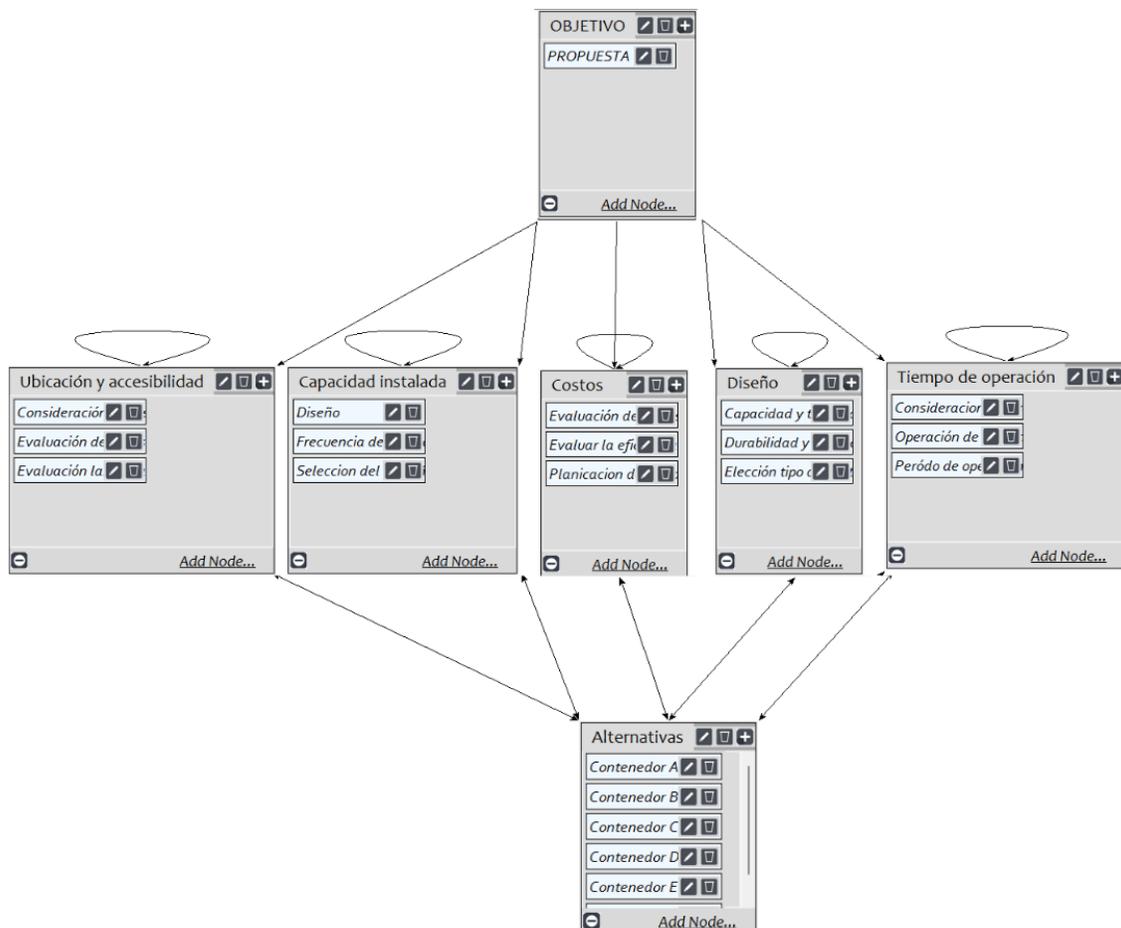
Además, la robustez del software es esencial para gestionar grandes conjuntos de datos relacionados con factores como la capacidad de los contenedores, costos iniciales y operativos, y consideraciones ambientales. La elección de SuperDecisions, en este contexto, contribuye a una toma de decisiones más informada y eficiente al abordar la complejidad del proyecto y garantizar la consideración adecuada de todos los aspectos relevantes para la ubicación de contenedores.

El proceso de utilización de este software comienza con la creación de un nuevo modelo de decisión, donde se asigna un nombre y una descripción que reflejan el objetivo central del estudio. A continuación, se procede a la definición de los elementos clave en el modelo, que por lo general consisten en "criterios" y "alternativas". Los criterios desempeñan el papel de representar los factores determinantes en la toma de decisión, en este caso, los cinco mencionados previamente, mientras que las "alternativas" reflejan las opciones que están siendo sometidas a evaluación, en este caso, un total de seis. Estos elementos se organizan de manera jerárquica, con los criterios principales ocupando la cúspide y los subcriterios o alternativas subordinados a estos. Esta jerarquía se logra utilizando las funciones "Add Criteria" o "Add Alternative" y organizando los elementos de acuerdo con su relevancia y su relación jerárquica, lo que establece

una sólida estructura para llevar a cabo un análisis estructurado y eficaz en SuperDecisions.

Luego, se avanza conectando entre sí cada uno de los elementos, estableciendo comparaciones y relaciones que posibilitan la construcción de la matriz de evaluación. Este proceso implica la comparación de criterios, subcriterios o alternativas entre sí, asignando valores que reflejan su importancia relativa en la toma de decisiones [56]. Estas comparaciones son fundamentales para generar una representación cuantitativa de cómo se ponderan los elementos en función de los criterios establecidos como se evidencia en la Ilustración [29].

Ilustración 29. Diagrama ANP SuperDecisions



Fuente: Elaboraci3n propia

A partir de la estructura establecida, el software SuperDecisions genera ciertas matrices que permiten la evaluaci3n sistem3tica y cuantitativa de las alternativas y la toma de decisiones informadas. Estas matrices reflejan las comparaciones y valoraciones realizadas entre los elementos, lo que proporciona una base s3lida

para calcular las puntuaciones y determinar la preferencia relativa de cada alternativa en función de los criterios y subcriterios predefinidos [56].

El análisis presentado a continuación se basa en un ejemplo que ilustra el funcionamiento del software Superdecisions, el cual es influenciado por diversos autores cuyas contribuciones se mencionarán a medida que avanza el desarrollo del ejemplo. Este análisis detalla paso a paso cómo opera Superdecisions, una herramienta destinada a facilitar la toma de decisiones, esto simplifica el proceso de evaluación y agiliza la identificación de la mejor alternativa de ubicación de contenedores en el sector de la Esmeralda. Desde la definición del problema hasta la evaluación de alternativas y la obtención de resultados, el software ofrece un enfoque estructurado y sistemático para abordar decisiones multicriterio de manera efectiva.

Análisis de la red de influencias, Ejemplo (Matriz de dominación interfactorial)

La matriz de dominación Inter factorial es una representación estructurada por líneas y columnas de la propia estructura en red ANP y está compuesta en las siguientes características:

- **C1, C2, ..., Cm**: son los componentes de la estructura en red. Cuanto mayor el número de los componentes, se aumentan las columnas y filas de manera proporcional. En el caso de estudio se tiene 5 criterios establecidos.
- **e11, e12, ..., em**: son los elementos del componente, en el caso de estudio cada criterio cuenta con tres subcriterios.
- **A11, A12, ..., A1m**: se denomina el bloque de la matriz de dominación interfactorial, en el caso de estudio se cuenta con seis alternativas.

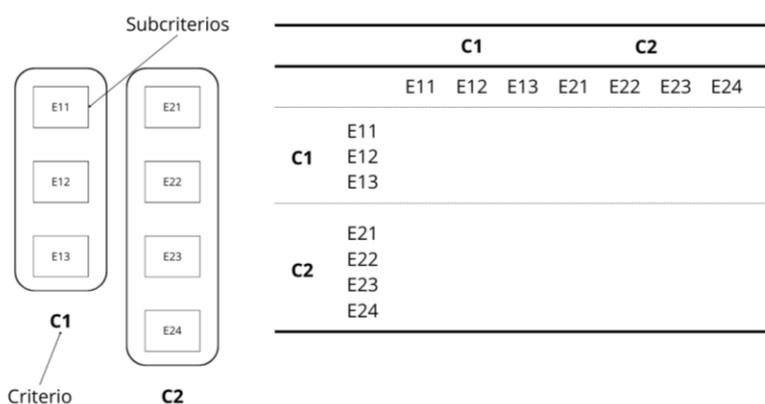
Tabla 9. Matriz de dominación Inter factorial o matriz de influencias genéricas

| | C1 | | | C2 | | | Cm | | |
|-----------|-------------------|------|----|-----------|-----|----|-----------|-----|-----|
| | e11 | e12 | em | e21 | e22 | em | em1 | em2 | emn |
| C1 | e11 e12 em | A 11 | | A 12 | | | A 1m | | |
| C2 | e21 e22 em | A 21 | | A 21 | | | A 2m | | |
| Cm | em1 em2 emn | A m1 | | A m2 | | | A mn | | |

Fuente: Diseño, desarrollo y validación de una metodología para el análisis de competitividad en sectores industriales venezolanos basada en la técnica multicriterio Analytic Network Process (ANP).

Para analizar de manera más detallada las relaciones de interdependencia y realimentaciones entre los elementos, se ha optado por utilizar un ejemplo de Aznar-Bellver y Guijarro-Martínez [60]. El objetivo es profundizar y proporcionar una explicación didáctica de estas relaciones del modelo matemático que se dan en el software, así como de los cálculos de las matrices en cada fase de construcción. En este caso específico, el ejemplo seleccionado presenta una configuración en red ANP con dos componentes, los cuales se encuentran representados en la matriz interfactorial que se muestra en la Ilustración [30].

Ilustración 30. Ejemplo ANP



Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

La identificación de la influencia entre los elementos se realiza mediante una serie de preguntas que se responden con dos numeraciones: 0 o 1. En este contexto, el número "cero" indica la ausencia de influencia entre los elementos, mientras que el "uno" denota influencia existente. El proceso de clasificación se inicia al agrupar los elementos bloque por bloque y de manera vertical:

1. Pregunta ejemplo: ¿Cuáles de los elementos en C1 ejercen influencia sobre el elemento E11? En el caso de que tanto E12 como E13 influyan en el elemento E11, se registra el número 1 en ambas casillas correspondientes. En este contexto, dado que el elemento E11 no ejerce influencia sobre sí mismo, se coloca el número 0 en esa casilla específica.

Tabla 10. Ejemplo ANP matriz interfactorial

| | | C1 | | | C2 | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| C1 | E11 | 0 | | | | | | |
| | E12 | 1 | | | | | | |
| | E13 | 1 | | | | | | |
| C2 | E21 | | | | | | | |
| | E22 | | | | | | | |
| | E23 | | | | | | | |
| | E24 | | | | | | | |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València

1. Pregunta ejemplo: ¿Cuáles de los elementos en C1 ejercen influencia sobre el elemento E12? Como existe una influencia mutua entre los elementos E11 y E13, se registra el número 1 en cada casilla correspondiente para reflejar esta interacción. En E12, se coloca el número 0 en la casilla correspondiente a la falta de influencia.

Tabla 11. Ejemplo ANP matriz inter factorial 2

| | | C1 | | | C2 | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| C1 | E11 | 0 | 1 | | | | | |
| | E12 | 1 | 0 | | | | | |
| | E13 | 1 | 1 | | | | | |
| C2 | E21 | | | | | | | |
| | E22 | | | | | | | |
| | E23 | | | | | | | |
| | E24 | | | | | | | |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València

1. Pregunta ejemplo: En el caso en el que únicamente el elemento E12 ejerce influencia, se coloca el número 1 en la casilla correspondiente a E12, indicando su influencia, y se registra el número 0 en las casillas correspondientes a los elementos que no experimentan influencia.

Tabla 12. Ejemplo matriz ANP interfactorial 3

| | | C1 | | | C2 | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| C1 | E11 | 0 | 1 | 0 | | | | |
| | E12 | 1 | 0 | 1 | | | | |
| | E13 | 1 | 1 | 0 | | | | |
| C2 | E21 | | | | | | | |
| | E22 | | | | | | | |
| | E23 | | | | | | | |
| | E24 | | | | | | | |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València

Después de completar el proceso para el bloque A11, se repite el mismo procedimiento para los elementos del componente C2 con respecto a los elementos del componente C1 (A21). En esta fase, se observa que:

- Los elementos E22, E23 y E24 influyen en el elemento E11.
- Los elementos E21, E22 y E24 ejercen influencia sobre el elemento E12.
- Los elementos de C2, es decir, E21, E22 y E23, influyen en el elemento E13.

Tabla 13. Ejemplo ANP matriz Inter factorial 4

| | | C1 | | | C2 | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| C1 | E11 | 0 | 1 | 0 | | | | |
| | E12 | 1 | 0 | 1 | | | | |
| | E13 | 1 | 1 | 0 | | | | |
| C2 | E21 | 0 | 1 | 1 | | | | |
| | E22 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| | E23 | 1 | 0 | 1 | | | | |
| | E24 | 1 | 1 | 1 | | | | |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València

A continuación, en la tabla [14], se lleva a cabo el análisis de las influencias de los elementos del componente C1 sobre el componente C2, utilizando el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Tabla 14. Ejemplo ANP matriz Inter factorial 5

| | | C1 | | | C2 | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| c1 | E11 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | E12 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | E13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| c2 | E21 | 0 | 1 | 1 | | | | |
| | E22 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| | E23 | 1 | 0 | 1 | | | | |
| | E24 | 1 | 1 | 1 | | | | |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Se concluye la construcción de la matriz de influencias, considerando que los elementos de C2 no influyen sobre sí mismos, indicando así la ausencia de influencias entre las alternativas del problema de decisión en este caso particular [60]. Una vez que se han identificado todas las influencias entre los elementos y se ha completado la matriz de dominación interfactorial, se continúa a la siguiente etapa del proceso como se evidencia en la Tabla [15]. Este paso asegura una representación completa y precisa de las relaciones y la influencia entre los elementos, proporcionando una base sólida para avanzar en el análisis y la toma de decisiones.

Tabla 15. Ejemplo ANP matriz interfactorial 6

| | | C1 | | | C2 | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| c1 | E11 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | E12 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | E13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| c2 | E21 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | E22 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | E23 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | E24 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Cálculo de las prioridades entre elementos. Supermatriz original

Después de asignar las escalas 0 y 1 a todos los elementos de la matriz de dominación Inter factorial, el siguiente paso implica la construcción de la supermatriz original. Este proceso implica la conversión de las escalas 0 y 1 en pesos que

representan la prioridad total de cada elemento [60]. Este paso es crucial ya que transforma la información cualitativa de las influencias en una forma cuantitativa, permitiendo una evaluación más precisa y ponderada de las relaciones entre los elementos. La supermatriz original se convierte así en una herramienta fundamental para la toma de decisiones informadas en el contexto del problema evaluado. En la Ilustración [31], se aprecia que para calcular la supermatriz original, se conserva la misma estructura de la matriz de dominación interfactorial; la distinción radica en la manera en que los datos se introducen en esta supermatriz.

Ilustración 31. Construcción supermatriz original

| Matriz interfactorial | | | | | | | | Supermatriz original | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| | | C1 | | | | C2 | | | | | | C1 | | | | C2 | | | |
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 | | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 | | |
| C1 | E11 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | C1 | E11 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | | |
| | E12 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | | E12 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | | |
| | E13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | | E13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | | |
| C2 | E21 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | C2 | E21 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | E22 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | E22 | W22,11 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | E23 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | E23 | W23,11 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | E24 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | E24 | W24,11 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Fuente: Diseño, desarrollo y validación de una metodología para el análisis de competitividad en sectores industriales venezolanos basada en la técnica multicriterio Analytic Network Process (ANP).

En esta etapa crítica, es imperativo seguir tres fases fundamentales. En la primera fase, se establecen las prioridades entre los elementos que han mostrado influencia en la matriz interfactorial mediante el empleo de la Escala Fundamental de Comparación Pareada de Saaty, lo que aporta una estructura cuantitativa sólida para la toma de decisiones [73]. Cada valor numérico en la escala cuenta con un significado específico que refleja la intensidad de la preferencia entre dos elementos comparados. Los valores se utilizan para expresar el grado de importancia relativa de un elemento sobre otro y van desde 1 (igual importancia) hasta 9 (importancia extremadamente superior) como se aprecia en la Tabla [16].

Tabla 16. Escala Saaty

| Valor | Definición | Comentarios |
|----------------------------------|---|---|
| 1 | Igual importancia | El criterio A es igual de importancia que el criterio B |
| 3 | Importancia moderada | La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B |
| 5 | Importancia grande | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre B |
| 7 | Importancia muy grande | El criterio A es mucho más importante que el criterio B |
| 9 | Importancia extrema | La mayor importancia del criterio A sobre el B esta fuera de toda duda |
| 2,4,6 y 8 | Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar | |
| Recíprocos de lo anterior | Si el criterio A es de importancia grande frente al criterio B las notaciones serían las siguientes. Criterio A frente a criterio B 5/1 Criterio B frente a criterio A 1/5 | |

Fuente: Diseño, desarrollo y validación de una metodología para el análisis de competitividad en sectores industriales venezolanos basada en la técnica multicriterio Analytic Network Process (ANP).

La siguiente Ilustración [32] muestra cómo el programa SuperDecisions presenta la escala Saaty y la comparación entre subcriterios para su evaluación.

Ilustración 32. Escala Saaty

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|----------|---------------|
| 1. | Diseño | >=9.5 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Frecuencia d- |
| 2. | Diseño | >=9.5 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Selección de~ |
| 3. | Frecuencia d- | >=9.5 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Selección de~ |

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se procede a la segunda parte, que implica el cálculo de la consistencia de todas las matrices de comparación pareada. Este paso es esencial para garantizar la fiabilidad y validez de los datos proporcionados por las comparaciones. Finalmente, en la tercera fase, se calcula el autovector o vector de peso de cada elemento en la matriz, proporcionando así una medida cuantitativa de la importancia de cada elemento en relación con los demás.

La evaluación de prioridades entre los elementos se realiza mediante una matriz de comparación pareada, construida de acuerdo con las influencias identificadas en la matriz interfactorial. La Ilustración [33] describe un ejemplo de la matriz interfactorial

con sus correspondientes influencias, así como la matriz de comparación pareada correspondiente.

Ilustración 33. Construcción de la matriz de comparación pareada



Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

En este caso específico, los elementos E12 y E13 ejercen influencia sobre el elemento E11. Por lo tanto, se construye una matriz de comparación pareada para establecer la importancia relativa entre los elementos que han demostrado influencia en la matriz interfactorial, centrándose en la relación entre E12 y E13.

La determinación de la prioridad entre los elementos y la aplicación de la escala Saaty involucran la consideración de dos preguntas clave:

1. ¿Quién tiene una influencia mayor sobre E11: E12 o E13?
2. ¿En qué medida ejerce esa influencia?

Estas preguntas desempeñan un papel facilitador para quienes están estableciendo prioridades entre los elementos, proporcionando un marco claro para la evaluación. Además, es esencial respetar y cumplir con un conjunto de reglas establecidas, según Saaty [60]:

Homogeneidad: En el contexto de la escala Saaty, se establece el principio de homogeneidad, que implica que, si los elementos i y j se consideran igualmente importantes, entonces $A_{ij} = A_{ji} = 1$. Además, se cumple que $A_{ii} = 1$ para todo i .

La igualdad $A_{ii} = 1$; para todo i establece que, en la comparación pareada entre elementos idénticos, como, por ejemplo, E22, E23, E24 horizontal con E22, E23, E24 vertical en la matriz, siempre se asignará el número 1. En consecuencia, la diagonal completa de la matriz de comparación pareada será igual a 1 como se observa en la Tabla [17]. Este principio garantiza que la importancia relativa de un elemento consigo mismo siempre se evalúe como máxima, lo cual es coherente con la lógica de que un elemento es igualmente importante consigo mismo.

Tabla 17. Homogeneidad de la matriz compareada

| E11 | E22 | E23 | E24 |
|------------|-----|-----|-----|
| E22 | 1 | 1 | |
| E23 | 1 | 1 | |
| E24 | | | 1 |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

$A_{ij} = A_{ji} = 1$ indica que, si los elementos i y j son considerados igualmente importantes, se asigna el número 1 a ambos elementos correspondientes. Este principio se observa claramente en la parte gris de la matriz, como se muestra en la Tabla [18]. En esta sección, donde se refleja la igualdad de importancia entre los elementos, se coloca el número 1 en ambas posiciones de la matriz de comparación pareada, asegurando así la coherencia en la evaluación de la relación de importancia entre los elementos i y j .

Tabla 18. Homogeneidad de la matriz compareada 2

| E11 | E22 | E23 | E24 |
|------------|-----|-----|-----|
| E22 | 1 | 1 | |
| E23 | 1 | 1 | |
| E24 | | | 1 |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Reciprocidad: Si $A_{ij} = x$, entonces $A_{ji} = 1/x$, con $1/9 \leq x \leq 9$

La variable "x" en este contexto representa la importancia atribuida a los elementos, siguiendo la Escala Fundamental de Comparación Pareada de Saaty. Cuando se establece que $A_{ij} = x$, la reciprocidad se manifiesta en $A_{ji} = 1/x$. Esto implica que al responder a la pregunta sobre qué elementos son más importantes y en qué medida, la escala inversa en la matriz de comparación pareada se refleja como $1/x$. En la siguiente tabla [19] se presenta un pequeño ejemplo de esta comparación. Es crucial destacar que el rango $1/9 \leq x \leq 9$ debe ser respetado para adherirse a la escala de Saaty, desde la menor prioridad ($1/9$) hasta la mayor (9) al desarrollar la matriz de comparación pareada.

Es esencial destacar que para una matriz de dimensión $n \times n$, solo se requieren $n(n-1)/2$ comparaciones. Por ejemplo, considerando una matriz de comparación

pareada con un conjunto de 4 elementos, se necesitan 6 comparaciones $[4(4-1)/2 = 6]$, como se muestra en la Tabla [19]. En esta tabla, las comparaciones necesitan ser evaluadas y asignadas en la escala de Saaty, y estas se destacan en gris. Vale la pena señalar que las comparaciones restantes son simplemente las inversas ($1/x$) de las 6 comparaciones previamente realizadas, asegurando así que la matriz cumpla con el principio de reciprocidad de la escala Saaty.

Tabla 19. Comparación de la matriz pareada

| E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| E21 | 1 | x12 | x13 | 1/x14 |
| E22 | 1/x12 | 1 | x22 | x23 |
| E23 | 1/x13 | 1/x22 | 1 | x31 |
| E24 | x14 | 1/x23 | 1/x31 | 1 |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Consistencia: Se satisface que $a_{jk} * a_{kj} = a_{ij}$ para todo $1 \leq i, j, k \leq n$

Una vez que se han construido las matrices de comparaciones pareadas, es crucial verificar su consistencia mediante el cálculo del Ratio de Consistencia (CR). Según Taha [60], la consistencia implica que quien toma decisiones muestra un juicio coherente en la especificación de la comparación por pares de los criterios o alternativas. Para evaluar el nivel de consistencia, se realiza el cálculo de una serie de matrices, como se observa a continuación. Este breve ejemplo está adaptado de los autores Aznar-Bellver y Guijarro-Martínez y Taha [60].

En la Ilustración [34], se proporciona una guía visual sobre cómo crear una matriz de comparación pareada.

Ilustración 34. Ejemplo de cálculo de la consistencia 1

$$A = \begin{pmatrix} w_1 & w_1 & w_1 & w_1 \\ w_2 & w_2 & w_2 & w_2 \\ : & : & : & : \\ w_n & w_n & w_n & w_n \end{pmatrix} \quad \begin{array}{c|cccc} \hline \mathbf{E11} & \mathbf{E21} & \mathbf{E23} & \mathbf{E24} \\ \hline \mathbf{E21} & 1 & 4 & 5 \\ \mathbf{E23} & 1/4 & 1 & 2 \\ \mathbf{E24} & 1/5 & 1/2 & 1 \\ \hline \end{array} \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 5 \\ 0,25 & 1 & 2 \\ 0,2 & 0,5 & 1 \end{pmatrix}$$

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Los pesos relativos se calculan dividiendo cada elemento de una columna entre la suma total de los elementos en esa columna [56]. Este cálculo se realiza para asignar ponderaciones a cada elemento en función de su contribución relativa

dentro de su respectiva columna como se observa en la Ilustración [35]; en este ejemplo específico, la suma de cada columna es (1.45, 5.5, 8) como se ve en la Ilustración [36].

Ilustración 35. Suma de columnas

$$A = \begin{array}{ccc|ccc} & & & 1 & 4 & 5 \\ & & & 0,25 & 1 & 2 \\ & & & 0,2 & 0,5 & 1 \\ & & & 1,45 & 5,5 & 8 \end{array}$$

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 36. Ejemplo de cálculo de consistencia 1

$$A = \begin{array}{cccc|cccc} & 1 & \frac{w_2}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_1} & & & \\ & \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_2}{w_n} & & & \\ & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & & & \\ & \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 & & & \end{array} \quad N = \begin{array}{ccc|ccc} & 1 & \frac{4}{5,5} & \frac{5}{8} \\ & 0,25 & \frac{1}{5,5} & \frac{2}{8} \\ & 0,2 & \frac{0,5}{5,5} & \frac{1}{8} \end{array} \quad N = \begin{array}{ccc} 0,69 & 0,72 & 0,63 \\ 0,17 & 0,18 & 0,25 \\ 0,17 & 0,09 & 0,13 \end{array}$$

Fuente: *Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio*. Editorial Universitat Politècnica de València.

Los pesos relativos se determinan calculando el promedio de cada fila en la matriz normalizada resultante [56]. Este proceso implica dividir los elementos de la matriz normalizada entre el número total de los elementos en su respectiva fila. De esta manera, se obtiene un conjunto de valores que representan las ponderaciones relativas de cada elemento en comparación con los demás en la misma categoría como se observa en la Ilustración [37].

Ilustración 37. Ejemplo de cálculo de la consistencia 3

$$N = \begin{array}{ccc} 0,69 & 0,72 & 0,63 \\ 0,17 & 0,18 & 0,25 \\ 0,17 & 0,09 & 0,13 \end{array} \quad \begin{array}{l} w_1 = \frac{0,69+0,72+0,63}{3} = 0,68 \\ w_2 = \frac{0,17+0,18+0,25}{3} = 0,20 \\ w_3 = \frac{0,17+0,09+0,13}{3} = 0,13 \end{array}$$

Fuente: *Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio*. Editorial Universitat Politècnica de València.

En este caso específico, la matriz inicial se calcula a través del promedio de cada fila, lo que resulta en un vector como se observa en la Ilustración [38].

Ilustración 38. Ejemplo de cálculo de la consistencia 4

$$A = \begin{vmatrix} 1 & \frac{w_2}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_1} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{vmatrix}$$

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 5 \\ 0,25 & 1 & 2 \\ 0,2 & 0,5 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0,68 \\ 0,20 \\ 0,13 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2,08 \\ 0,61 \\ 0,35 \end{vmatrix}$$

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Para obtener el cociente, se toma cada valor del vector y se divide por el promedio de todos los valores en el renglón al que pertenece el vector. Este proceso se repite para cada elemento del vector, lo que permite obtener un conjunto de resultados que representan la relación entre cada elemento del vector y el promedio de su renglón como se observa en la tabla [20].

Tabla 20. Ejemplo de cálculo de la consistencia 1

Cociente = Vector / Promedio del reglón

| Vector | Promedio del reglón | Cociente (d) |
|--------|---------------------|--------------|
| 2,08 | 0,68 | 3,05 |
| 0,61 | 0,20 | 3,02 |
| 0,35 | 0,12 | 3,01 |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Después de calcular los cocientes para cada elemento, se procede a determinar la media de estos cocientes, representada por 'd'. Esta media resultante ('d') se utiliza para determinar el valor de λ máximo.

Tabla 21. Ejemplo de cálculo de la consistencia 2

| Cociente (d) |
|--------------|
| 2,08 |
| 0,61 |
| 0,35 |

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Media = λ máxima = 3,02

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

El cálculo del índice de consistencia (CI) se realiza a continuación. El índice de consistencia es un valor que evalúa la coherencia o estabilidad de las comparaciones realizadas en el proceso analítico [74]. Este índice se utiliza para asegurar que las comparaciones y decisiones realizadas a lo largo del análisis sean razonables y no presenten inconsistencias significativas.

Ecuación 1. Índice de consistencia

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

CI = 0,0124

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Para evaluar la consistencia, se compara el valor del Índice de Consistencia (CI) con los valores de consistencia aleatoria establecidos para matrices de dimensiones específicas. El propósito de esta comparación es determinar si el valor de CI obtenido al analizar la matriz es aceptable en relación con el nivel de consistencia aleatoria establecido [75]. Si el CI es considerablemente mayor que el valor de consistencia aleatoria, podría indicar cierta inconsistencia en las comparaciones realizadas en la matriz y requeriría revisión.

Tabla 22. Tabla de ratio de consistencia (CI)

| Tamaño de la matriz (n) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Consistencia aleatoria | 0,00 | 0,00 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

El cálculo del Ratio de Consistencia (CR) es una medida que ayuda a evaluar la consistencia de las comparaciones realizadas en un análisis de matriz. El CR se calcula dividiendo el Índice de Consistencia (CI) por el valor de la Consistencia Aleatoria correspondiente a la dimensión de la matriz como se muestra en la ecuación [2] y se desarrolla en la Ilustración [39].

Ecuación 2. Ratio de consistencia

$$CR = \frac{CI}{\text{Consistencia aleatoria}}$$

Fuente: A portfolio-based analysis for green supplier management using the analytical network process.

Ilustración 39. Cálculo de Ratio

$$CR = \frac{0,0124}{0,52} = 0,0238 = 2,38\%$$

Fuente: Elaboración propia

Con el resultado final del ratio de consistencia, se procede a analizar la siguiente tabla, la cual establece los criterios para determinar la consistencia de una matriz nxn. Se considera que la matriz es consistente cuando el índice CR (Ratio de Consistencia) calculado previamente es menor que los porcentajes de referencia que se presentan en la tabla [23]. Sin embargo, si la matriz exhibe inconsistencia, es decir, el ratio de consistencia es superior a los valores establecidos en los porcentajes de referencia, se recomienda realizar ajustes en las escalas de Saaty utilizadas en las matrices de comparación pareada [56]. Este ajuste tiene como objetivo lograr que la matriz adquiera consistencia, permitiendo así avanzar hacia la siguiente etapa del proceso de construcción.

Tabla 23. Ratio de consistencia

| Tamaño de la matriz (n) | Ratio de consistencia |
|-------------------------|-----------------------|
| 3 | 5% |
| 4 | 9% |
| 5 o mayor | 10% |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Si el análisis del ratio de consistencia confirma que la matriz está dentro de los límites establecidos previamente, se procede con el siguiente cálculo. Este proceso implica la multiplicación iterativa de la matriz original por sí misma hasta alcanzar resultados en los vectores que son iguales o constantes en cada producto de las

matrices. Este procedimiento tiene como objetivo lograr la convergencia de los valores y determinar una matriz que refleje de manera más precisa las relaciones de comparación entre los elementos. Un ejemplo ilustrativo de este proceso se evidencia en la Ilustración [40].

Ilustración 40. Ejemplo determinación matriz

$$\begin{vmatrix} 1 & 4 & 5 \\ 0,25 & 1 & 2 \\ 0,20 & 0,50 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 4 & 5 \\ 0,25 & 1 & 2 \\ 0,20 & 0,50 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3 & 10,5 & 18 \\ 0,9 & 3 & 5,25 \\ 0,525 & 1,8 & 3 \end{vmatrix}$$

Fuente: *Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio*. Editorial Universitat Politècnica de València.

El cálculo de los vectores propios y la actualización de la supermatriz se realiza mediante un proceso iterativo. A continuación, se organiza y completa la explicación:

1. Cálculo inicial del vector propio:

Se inicia calculando el vector propio de la matriz mediante la división de la suma de cada fila entre la suma total de filas.

Ejemplo: Para la matriz inicial, se obtiene el vector propio (0.69, 0.18, 0.11).

2. Proceso iterativo:

Se repite el siguiente procedimiento con las matrices resultantes hasta que los vectores propios convergen y se vuelven constantes.

En la siguiente iteración, se obtiene un nuevo vector propio, por ejemplo, (0.69, 0.19, 0.11).

En la siguiente iteración, se obtiene otro vector propio, por ejemplo, (0.68, 0.19, 0.11).

Finalmente, cuando los vectores propios se estabilizan, se obtiene el vector constante (0.68, 0.19, 0.11).

3. Sustitución en la supermatriz original:

Este último vector propio constante se utiliza como pesos y se sustituye en la supermatriz original como se ve en la figura [36].

4. Finalización de supermatriz original:

Se repite este proceso en todas las matrices de comparación pareada que presentan influencias en la supermatriz original. Cada matriz se somete al mismo procedimiento hasta que se obtienen vectores propios constantes.

Una vez completado el proceso para todas las matrices, se tiene una supermatriz actualizada con los vectores propios constantes como pesos como se ve en la Ilustración [41]. Estos pesos reflejan la importancia relativa de los elementos en la supermatriz original, considerando las influencias de las matrices de comparación pareada [56].

Ilustración 41. Supermatriz original con los vectores propios

| Matriz interfactorial | | | | | | | | Supermatriz original | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| c1 | | | | c2 | | | | c1 | | | | c2 | | | |
| | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| c1 | E11 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | E11 | | | | | | |
| | E12 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | E12 | | | | | | |
| | E13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | E13 | | | | | | |
| c2 | E21 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | E21 | 0 | | | | | |
| | E22 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | E22 | 0,68 | | | | | |
| | E23 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | E23 | 0,19 | | | | | |
| | E24 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | E24 | 0,11 | | | | | |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Cálculo de las prioridades entre componentes. Supermatriz ponderada

Una vez completada la supermatriz original, el siguiente paso es transformarla en una supermatriz ponderada, es decir, en una matriz estocástica en la que la suma de cada columna sea igual a 1 [56]. Este proceso implica realizar una matriz de comparación pareada entre los componentes, siguiendo el mismo procedimiento mencionado anteriormente. Este procedimiento consiste en asignar una escala Saaty entre los elementos, calcular la consistencia de la matriz y determinar los vectores propios de estos componentes.

Tras el cálculo de los vectores propios de los componentes en la Tabla [23], se procede a multiplicar estos vectores propios dentro de la matriz ponderada como se observa en la Tabla [24]. Esta multiplicación resulta en la obtención de la supermatriz ponderada final Tabla [25], que refleja de manera ponderada la importancia relativa de los elementos en la matriz original. Este proceso asegura que la supermatriz final sea estocástica, cumpliendo con la condición de que la suma de cada columna sea igual a 1 y proporcionando una representación ponderada y consistente de los componentes en el sistema.

Tabla 23. Ejemplo de cálculo de prioridad entre componentes

| | C1 | C2 | Vector propio |
|----|-------|-----|---------------|
| C1 | 1 | 1/3 | 0,25 |
| C2 | 3 | 1 | 0,75 |
| CR | 0,00% | 0% | 1 |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Tabla 24. Supermatriz ponderada

| | | C1 | | | C2 | | | |
|----|-----|-------------|-------------|-------------|--------|-----|--------|--------|
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| C1 | E11 | 0 | 0,1667*0,25 | 0 | 0,7500 | 0 | 0,1603 | 0 |
| | E12 | 0,6667*0,25 | 0 | 1*0,2500 | 0,2500 | 0 | 0,1488 | 0,6667 |
| | E13 | 0,3333*0,25 | 0,8333*0,25 | 0 | 0 | 1 | 0,6908 | 0,3333 |
| C2 | E21 | 0 | 0,2297*0,75 | 0,1248*0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | E22 | 0,1047*0,75 | 0,122*0,75 | 0,5275*0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | E23 | 0,2583*0,75 | 0 | 0,2865*0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | E24 | 0,637*0,75 | 0,6483*0,75 | 0,0612*0,75 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

Tabla 25. Supermatriz ponderada final

| | | C1 | | | C2 | | | |
|----|-----|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| C1 | E11 | 0 | 0,0417 | 0 | 0,7500 | 0 | 0,1603 | 0 |
| | E12 | 0,1667 | 0 | 0,2500 | 0,2500 | 0 | 0,1488 | 0,6667 |
| | E13 | 0,0833 | 0,2083 | 0 | 0 | 1 | 0,6908 | 0,3333 |
| C2 | E21 | 0 | 0,1723 | 0,0936 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | E22 | 0,0785 | 0,0915 | 0,3956 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | E23 | 0,1937 | 0 | 0,2149 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | E24 | 0,4778 | 0,4862 | 0,0459 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: *Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio.* Editorial Universitat Politècnica de València.

Cálculo de la Supermatriz límite

Se lleva a cabo la multiplicación iterativa de la supermatriz ponderada consigo misma hasta que los valores de cada columna convergen con los obtenidos en la multiplicación anterior, asegurando que los pesos de una columna se repiten uniformemente en toda la matriz [56]. Este proceso se repite innumerables veces para garantizar la estabilidad y consistencia de los resultados. Una vez completados estos pasos, se logra determinar la prioridad global de los elementos en la red y, por ende, la solución final al problema de decisión, presentada en la Tabla [26].

Tabla 26. Supermatriz límite

| | | C1 | | | C2 | | | |
|----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | E11 | E12 | E13 | E21 | E22 | E23 | E24 |
| c1 | E11 | 0,0687 | 0,0687 | 0,0687 | 0,0687 | 0,0687 | 0,0687 | 0,0687 |
| | E12 | 0,2107 | 0,2107 | 0,2107 | 0,2107 | 0,2107 | 0,2107 | 0,2107 |
| | E13 | 0,2918 | 0,2918 | 0,2918 | 0,2918 | 0,2918 | 0,2918 | 0,2918 |
| c2 | E21 | 0,0636 | 0,0636 | 0,0636 | 0,0636 | 0,0636 | 0,0636 | 0,0636 |
| | E22 | 0,1401 | 0,1401 | 0,1401 | 0,1401 | 0,1401 | 0,1401 | 0,1401 |
| | E23 | 0,0760 | 0,0760 | 0,0760 | 0,0760 | 0,0760 | 0,0760 | 0,0760 |
| | E24 | 0,1487 | 0,1487 | 0,1487 | 0,1487 | 0,1487 | 0,1487 | 0,1487 |

Fuente: Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio. Editorial Universitat Politècnica de València.

En el proceso de abordar la evaluación para la ubicación óptima de contenedores, se sitúa entre el riguroso desarrollo de un modelo matemático y la fase crucial de la selección de expertos. La formulación de un modelo matemático proporciona una estructura sólida y cuantificable para abordar el problema, traduciendo las variables clave y sus interrelaciones en ecuaciones y parámetros. No obstante, se reconoce que el éxito de cualquier evaluación radica en la consideración de diversas perspectivas y la incorporación de conocimientos especializados.

Selección de expertos

Los expertos seleccionados para la evaluación de las matrices desempeñan roles variados en términos de profesión y ocupación actual, garantizando así el éxito en la evaluación de cada matriz. Siguiendo la recomendación de Yusoff [76], se sugiere contar con un mínimo de dos expertos para cada evaluación, pero se opta por una mayor robustez al involucrar a seis expertos en este proyecto. Esta selección incluye cinco ingenieros de diversas especialidades y un administrador de empresas, abarcando así un espectro amplio de conocimientos y perspectivas.

Los expertos convocados para la evaluación del modelo ANP implementado provienen de un proceso de selección cuidadoso que consideró varios criterios. En primer lugar, se buscó integrar perspectivas multidisciplinarias sobre la temática abordada, por lo cual se tuvieron en cuenta perfiles diversos como ingenieros civiles, industriales, físicos y forestales, junto con un administrador de empresas. Esta multiplicidad de disciplinas conexas al tratamiento de residuos y desarrollo de infraestructura agrega una mirada holística al análisis multicriterio. Asimismo, se valoró la incorporación de visión técnica experta desde la ingeniería para ponderar

requerimientos constructivos, logísticos, ambientales y otros que inciden sobre el emplazamiento de contenedores. Un aspecto clave es que algunos de los expertos se desempeñan actualmente en la empresa prestadora del servicio de aseo en el municipio, por lo que aportan una perspectiva informada desde la operación concreta de la gestión de residuos locales.

La evaluación se centra en validar cada dato proporcionado por los expertos, examinando la variación de resultados entre ellos. Este enfoque permite entender las diferentes perspectivas y opiniones de los expertos, contribuyendo a la conclusión sobre la mejor ubicación de los contenedores. La participación de seis expertos ofrece una visión integral y robusta que respalda la toma de decisiones informada en este proyecto de evaluación de ubicación de contenedores.

3.4 PARTE IV: EVALUAR EL MODELO MULTICRITERIO CONSIDERANDO CRITERIOS, SUBCRITERIOS Y ALTERNATIVAS, ASI COMO TAMBIÉN ANÁLISI AMBIENTAL.

A partir de los datos proporcionados por el modelo matemático implementado por el programa SuperDecisions, este arroja los resultados correspondientes a la óptima localización de contenedores para la toma de decisiones. La aplicación de este programa, especializado en la resolución de problemas multicriterio, ha permitido realizar un análisis profundo y sistemático de las alternativas clave y sus interrelaciones. Los resultados obtenidos a partir del modelo muestran de manera cuantitativa la ponderación y la influencia relativa de cada criterio tenido en cuenta.

La realización de las evaluaciones se fundamenta en la síntesis del proyecto proporcionada a los expertos, destacando las alternativas propuestas para la ubicación óptima de los contenedores. Se subraya la importancia de considerar las toneladas recolectadas en la zona y las capacidades de los contenedores. Se establece como crucial la elección de al menos cuatro ubicaciones, cada una albergando un sistema de contenedor soterrado compuesto por dos contenedores de carga trasera, con una capacidad de 440 kg cada uno, totalizando 880 kg por contenedor de carga trasera doble. Para cumplir con la generación de 3 toneladas en la zona, se propone que tres de los contenedores sean dobles y uno sencillo. Es esencial destacar que esta información de la demanda de residuos se derivó de los datos de operación registrados por la empresa Urbaser en su software, el cual recopila de manera integral la información operativa para respaldar el análisis y la toma de decisiones en el proyecto.

El software utilizado por la empresa prestadora de servicios de aseo se destaca por su capacidad integral al contener información crucial sobre diversos aspectos operativos de la empresa. Entre los datos registrados se encuentran los costos asociados, índices de rendimiento, tiempos de operación, detalles sobre la flota de vehículos, consumo de combustible, entre otros. Esta información completa y actualizada proporciona una visión detallada y precisa del manejo operativo de la empresa. Al centralizar datos tan diversos, el software se convierte en una herramienta invaluable para la toma de decisiones informada y estratégica, permitiendo a la empresa evaluar su rendimiento, identificar áreas de mejora y optimizar sus procesos de manera eficiente.

Es fundamental considerar que, si bien los resultados son cruciales, la participación de juicio experto es esencial para validar y contextualizar las conclusiones. La convergencia entre la objetividad cuantitativa del modelo y la experiencia subjetiva de los expertos permitirá una evaluación integral y ajustada a la realidad operativa, fortaleciendo así la toma de decisiones en la optimización de la ubicación de los contenedores. La selección de los expertos se llevó a cabo de la siguiente manera como se muestra en la tabla [27].

Tabla 27. Expertos

| Nombre expertos | Profesión |
|-----------------------------|---------------------------|
| Juan Camilo Ortiz Acuña | Ingeniero Industrial |
| Rafael Eduardo Mejia Andela | Administrador de empresas |
| John Alexander Gutiérrez | Ingeniero Forestal |
| William Galindez | Ingeniero Industrial |
| Carlos Rodríguez | Ingeniero Físico |
| Daniel Guyumús | Ingeniero Civil |

Fuente: Elaboración propia

Evaluación 1

Se realiza la evaluación de la matriz al experto número uno, en este es el ing. Juan Camilo Ortiz, jefe de operaciones de la empresa Urbaser de la ciudad de Popayán, este análisis, fundamentado en el conocimiento específico del ingeniero sobre las operaciones de la empresa en el contexto local, proporciona una base sólida para la toma de decisiones estratégicas. A continuación, en la Ilustración [42] se refleja la valoración que se da a cada una de las alternativas que se tienen en el programa.

Ilustración 42. Evaluación 1 alternativas software SuperDecisions

Main Network: EVALUACION ING JUAN CAMILO.sdmod: rati... — □ ×

Here are the priorities.

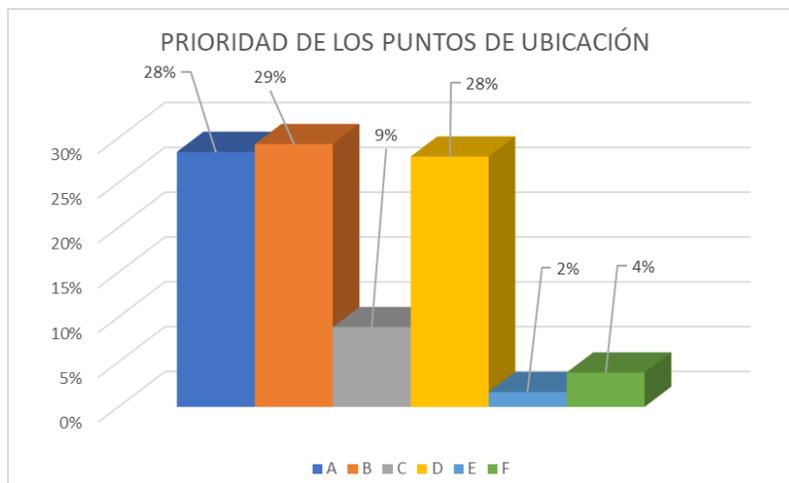
| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.28400 | 0.126695 |
| No Icon | Contenedor B | 0.29310 | 0.130755 |
| No Icon | Contenedor C | 0.08893 | 0.039673 |
| No Icon | Contenedor D | 0.27916 | 0.124537 |
| No Icon | Contenedor E | 0.01649 | 0.007357 |
| No Icon | Contenedor F | 0.03833 | 0.017099 |

Okay Copy Values

Fuente: Elaboración propia

Los datos recolectados se utilizaron para generar un gráfico de barras como muestra en la Ilustración [43] que destaca las mejores ubicaciones según la matriz de prioridades. El análisis refleja que, de acuerdo con el experto número uno, la ubicación 'B' es la más favorable con un porcentaje del 29%. Cercana a esta opción se encuentra la alternativa 'A', con un 28%, seguida por la opción 'D' con un 27%. En contraste, la ubicación 'C' solo representa un 8%, mostrando una discrepancia significativa respecto a las otras alternativas. Estas cuatro opciones son las que predominan en el proceso de evaluación.

Ilustración 43. Evaluación 1 alternativas estadísticas



Fuente: Elaboración propia

Evaluación 2

Se realiza la evaluación de la matriz al experto número dos, en este caso es el administrador de empresas Rafael Mejía, trabajador de la empresa Urbaser de la ciudad de Popayán. La perspectiva del administrador en su rol, aporta una visión valiosa sobre aspectos relacionados con la gestión y la viabilidad financiera de las alternativas. A continuación, en la Ilustración [44] se refleja la valoración que se da a cada una de las alternativas que se tienen en el programa.

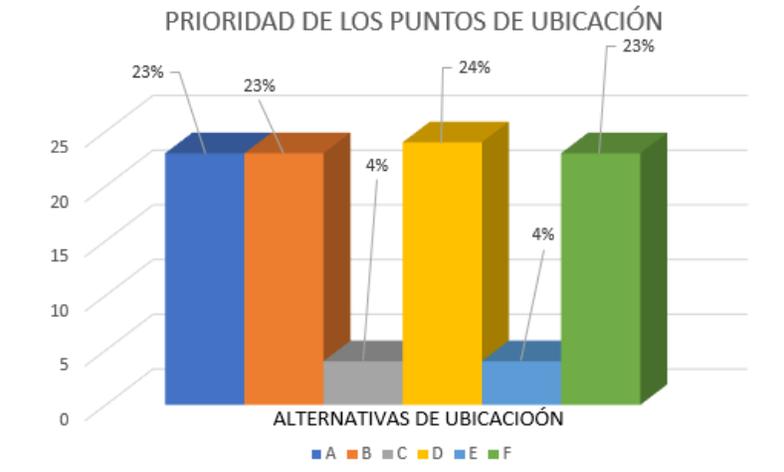
Ilustración 44. Evaluación 2 alternativas software SuperDecisions

| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.22996 | 0.106556 |
| No Icon | Contenedor B | 0.22909 | 0.106153 |
| No Icon | Contenedor C | 0.03790 | 0.017560 |
| No Icon | Contenedor D | 0.23628 | 0.109483 |
| No Icon | Contenedor E | 0.03865 | 0.017907 |
| No Icon | Contenedor F | 0.22813 | 0.105705 |

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos recopilados, se ha generado un gráfico de barras que visualiza las mejores ubicaciones según la matriz de prioridades. En este análisis, la evaluación del experto número dos revela que la alternativa 'D' destaca como la mejor opción, obteniendo un porcentaje significativo del 24%. La alternativa 'A' sigue de cerca con un 23%, mientras que las opciones 'B' y 'F' se posicionan igualmente con un 23% cada una. Estos porcentajes revelan una similitud notable entre las cuatro alternativas, consolidándose como las principales en el proceso de evaluación como se muestra en la Ilustración [45].

Ilustración 45. Evaluación 2 alternativas estadísticas



Fuente: Elaboración propia.

Evaluación 3

Se realiza la evaluación de la matriz al experto número uno, en este es el ing. William Galíndez, jefe de planeación de la empresa Alcanos en la ciudad de Popayán. La perspectiva del ingeniero, centrada en la planificación, ofrece una visión clave sobre la viabilidad y la alineación estratégica de las alternativas. A continuación, en la Ilustración [46] se refleja la valoración que se da a cada una de las alternativas que se tienen en el programa.

Ilustración 46. Evaluación 3 alternativas software SuperDecisions

Main Network: EVALUACION ING WILLIAM.sdmod: ratings: P... — □ ×

Here are the priorities.

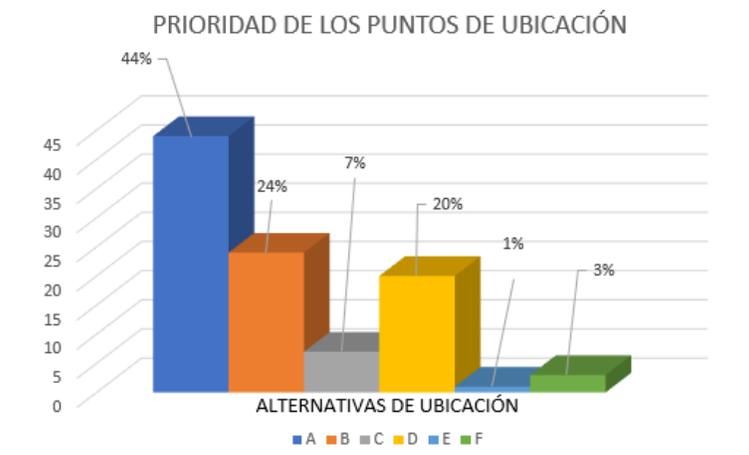
| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.43578 | 0.202099 |
| No Icon | Contenedor B | 0.24372 | 0.113026 |
| No Icon | Contenedor C | 0.07508 | 0.034819 |
| No Icon | Contenedor D | 0.19635 | 0.091061 |
| No Icon | Contenedor E | 0.01524 | 0.007069 |
| No Icon | Contenedor F | 0.03383 | 0.015689 |

Okay Copy Values

Fuente: Elaboración propia

En el análisis efectuado, la recomendación del experto número tres destaca la alternativa 'A' como la mejor ubicación, obteniendo un significativo porcentaje del 43%, lo que marca una diferencia sustancial con los demás resultados. La alternativa 'B' ocupa el segundo lugar con un 24%, mostrando una brecha considerable con respecto a la opción líder. La alternativa 'D' se sitúa en tercer lugar, representando el 19%, considerablemente menor que las dos primeras alternativas. Finalmente, la ubicación 'C' muestra un porcentaje del 7%, evidenciando una discrepancia notable en comparación con las otras alternativas. Estas cuatro opciones emergen como predominantes en los procesos de evaluación como se muestra en la Ilustración [47].

Ilustración 47. Evaluación 3 alternativas estadísticas



Fuente: Elaboración propia

Evaluación 4

La evaluación de la matriz se lleva a cabo con la participación del cuarto experto, el ingeniero forestal John Alexander Gutiérrez, quien desempeña el rol de supervisor de operaciones en Urbaser en la ciudad de Popayán. La experiencia y posición estratégica del ingeniero en el ámbito de operaciones lo posicionan como un actor clave en la evaluación de las alternativas presentes en el programa. A continuación,

en la Ilustración [48] se presenta la valoración detallada otorgada por el ingeniero a cada una de las alternativas contempladas en el programa.

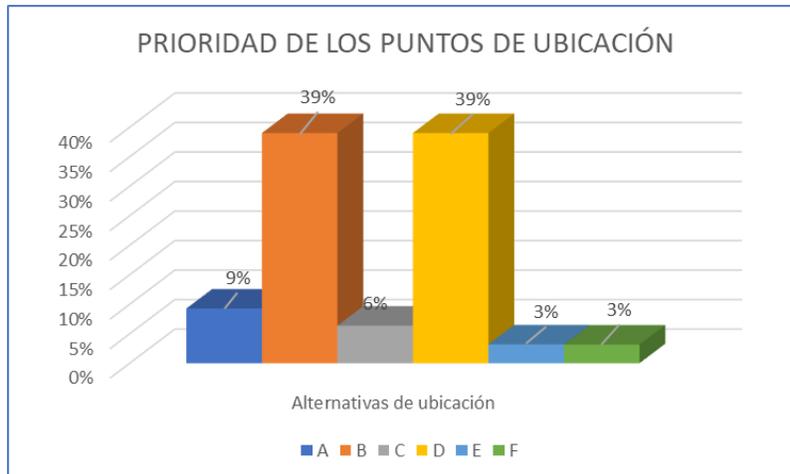
Ilustración 48. Evaluación 4 alternativas software SuperDecisions

| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.09268 | 0.042846 |
| No Icon | Contenedor B | 0.39008 | 0.180326 |
| No Icon | Contenedor C | 0.06368 | 0.029438 |
| No Icon | Contenedor D | 0.39008 | 0.180326 |
| No Icon | Contenedor E | 0.03193 | 0.014760 |
| No Icon | Contenedor F | 0.03156 | 0.014589 |

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos se realiza un gráfico de barras como se muestra en la Ilustración [49] para evidenciar las mejores alternativas de ubicación y los resultados obtenidos en la matriz de prioridad, en donde se puede reflejar que en este caso se obtuvieron dos alternativas consideradas como las mejores por el experto número cuatro, B y D, obteniendo un porcentaje del 39% respectivamente, así como también se tiene en cuenta la alternativa A la cual arroja un porcentaje del 9% siendo una cifra bastante lejana con respecto a las principales alternativas, de la misma manera se tiene en cuenta la alternativa C que representa el 6% muy semejante a la alternativa anterior. Por lo tanto, estas cuatro alternativas son las que predominan en los procesos de evaluación.

Ilustración 49. Evaluación 3 alternativas estadísticas

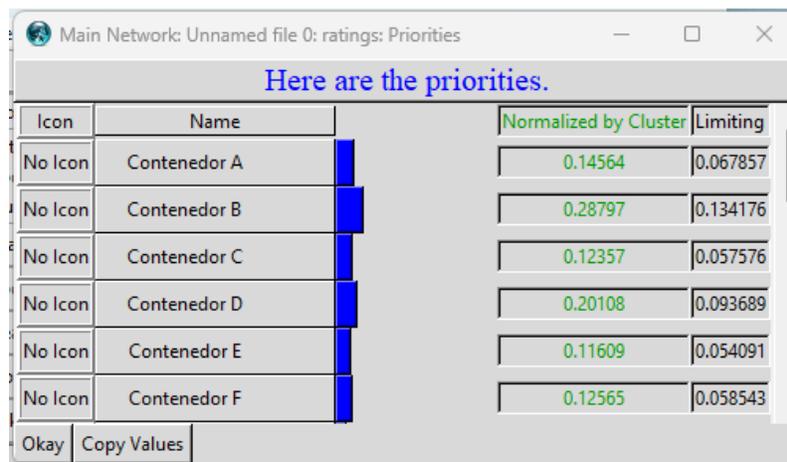


Fuente: Elaboración propia

Evaluación 5

La evaluación de la matriz se lleva a cabo con la participación del cuarto experto, el ingeniero físico Carlos Rodríguez, quien desempeña el rol de docente en Unicomfacauca. La experiencia y posición estratégica del ingeniero en el ámbito educativo lo posicionan como un actor clave en la evaluación de las alternativas presentes en el programa. A continuación, en la Ilustración [50], se presenta la valoración detallada otorgada por el ingeniero a cada una de las alternativas contempladas en el programa.

Ilustración 50. Evaluación 5 alternativas software SuperDecisions



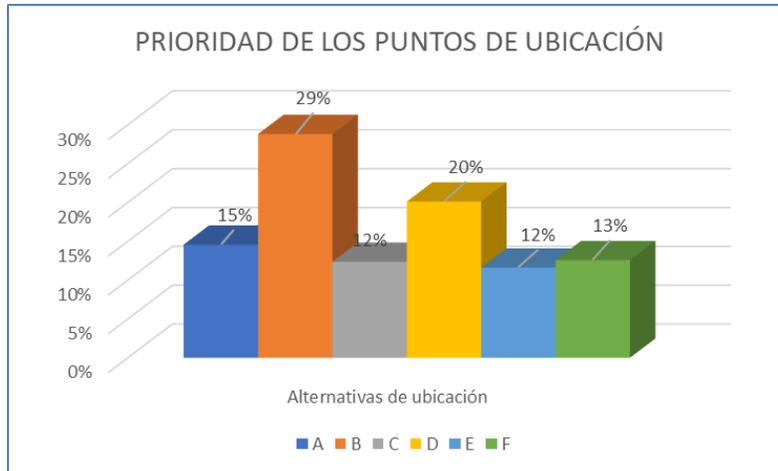
| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.14564 | 0.067857 |
| No Icon | Contenedor B | 0.28797 | 0.134176 |
| No Icon | Contenedor C | 0.12357 | 0.057576 |
| No Icon | Contenedor D | 0.20108 | 0.093689 |
| No Icon | Contenedor E | 0.11609 | 0.054091 |
| No Icon | Contenedor F | 0.12565 | 0.058543 |

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos recopilados, se ha generado un gráfico de barras con el propósito de visualizar de manera clara las mejores alternativas de ubicación en la Ilustración [51], según los resultados obtenidos en la matriz de prioridad. En este análisis, se destaca que la alternativa B fue señalada como la más favorable por el experto número cinco, con un notable porcentaje del 29%. Asimismo, la alternativa D también se presenta como una opción sólida, alcanzando un 20%, lo que la coloca en una posición cercana a la primera alternativa. Adicionalmente, se observa que la alternativa A representa un 15%, lo cual la sitúa en una posición competitiva similar a las dos primeras alternativas. Por último, la ubicación F se considera con un

porcentaje del 13%, consolidándose como otra opción relevante en el proceso de evaluación.

Ilustración 51. Evaluación 5 alternativas estadísticas



Fuente: Elaboración propia

Evaluación 6

La evaluación de la matriz se lleva a cabo con la participación del sexto experto, el ingeniero civil Daniel Guyumús, quien desempeña el rol de asistente de investigación en Duke University. Su papel aporta no solo experiencia práctica, sino también un enfoque basado en la investigación y la vanguardia en el campo de la ingeniería civil. A continuación, en la Ilustración [52], se presenta la valoración detallada otorgada por el ingeniero a cada una de las alternativas contempladas en el programa.

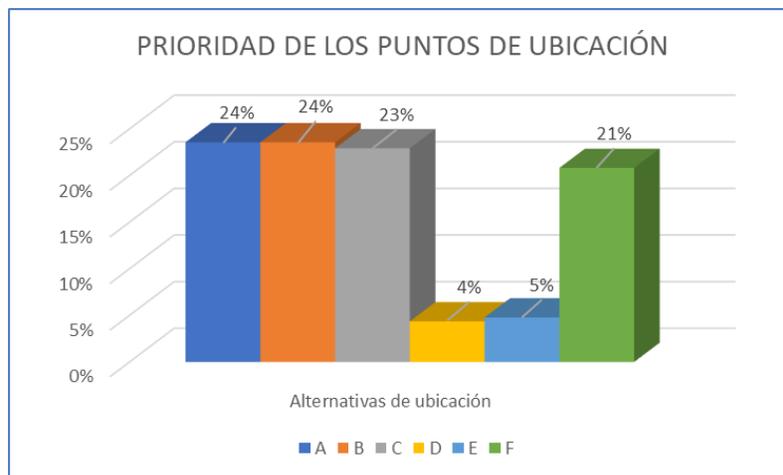
Ilustración 52. Evaluación 6 alternativas software SuperDecisions

| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.23567 | 0.108784 |
| No Icon | Contenedor B | 0.23567 | 0.108784 |
| No Icon | Contenedor C | 0.22920 | 0.105799 |
| No Icon | Contenedor D | 0.04356 | 0.020108 |
| No Icon | Contenedor E | 0.04777 | 0.022051 |
| No Icon | Contenedor F | 0.20814 | 0.096076 |

Fuente: Elaboración propia

En este análisis a partir de la Ilustración [53], se evidencia que el experto número seis ha identificado dos alternativas, A y B, como las más destacadas, ambas con un porcentaje del 24%. Estas cifras las posicionan como las principales opciones según la evaluación realizada. Asimismo, la alternativa C también se presenta como una opción sólida, obteniendo un porcentaje del 23%, lo que la sitúa muy cerca de las alternativas A y B en términos de preferencia. Además, la alternativa F no se queda atrás, representando un 21%, lo que la coloca en una posición significativa en el proceso de evaluación.

Ilustración 53. Evaluación 6 alternativas estadísticas



Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos, se procede a calcular el promedio de los valores asignados a cada alternativa. Para llevar a cabo este proceso, se dividen los datos en dos grupos "A" y "B", cada uno compuesto por tres evaluaciones. Este enfoque permitirá obtener un promedio representativo para cada alternativa, facilitando así la interpretación de la información recopilada. Este método de agrupación garantiza una consideración equitativa de las evaluaciones realizadas, proporcionando una medida más precisa de la tendencia general en la valoración de las alternativas.

A continuación, se procede a realizar una tabulación de las evaluaciones de los valores asignados a cada alternativa, tal como se observa en las Tablas [28] y [29]. Esta presentación facilita la obtención de una visión consolidada de las puntuaciones otorgadas por los evaluadores a cada opción. Para resaltar las alternativas de mayor relevancia, se destacan con color gris.

Tabla 28. Cifras evaluaciones alternativas grupo A

| Evaluación 1 | | Evaluación 2 | | Evaluación 3 | |
|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| A | 0,284 | A | 0,22996 | A | 0,43578 |
| B | 0,2931 | B | 0,22909 | B | 0,24372 |
| C | 0,08893 | C | 0,0379 | C | 0,07508 |
| D | 0,27916 | D | 0,23628 | D | 0,19635 |
| E | 0,01649 | E | 0,03865 | E | 0,01524 |
| F | 0,03833 | F | 0,22813 | F | 0,03383 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Cifras evaluaciones alternativas grupo B

| Evaluación 4 | | Evaluación 5 | | Evaluación 6 | |
|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| A | 0,09268 | A | 0,14564 | A | 0,23567 |
| B | 0,39008 | B | 0,28797 | B | 0,23567 |
| C | 0,06368 | C | 0,12357 | C | 0,2292 |
| D | 0,39008 | D | 0,20108 | D | 0,04356 |
| E | 0,03193 | E | 0,11609 | E | 0,04777 |
| F | 0,03156 | F | 0,12565 | F | 0,20814 |

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados de la tabulación, se puede identificar un patrón claro de prioridades en las evaluaciones de ambos grupos. Las alternativas "A" y "B" destacan como prioridad, ya que fueron seleccionadas en todas las evaluaciones, aunque con cifras diferentes entre ellas. La alternativa "D" también se posiciona como prioritaria, con cinco evaluaciones en total, siendo tres de ellas del grupo A y dos del grupo B. Por otro lado, la alternativa "C" se considera prioritaria en dos evaluaciones tanto del grupo A como del grupo B. En cuanto a la alternativa "F", se observa que tuvo prioridad en una evaluación dentro del grupo A y en dos evaluaciones dentro del grupo B. En contraste, la alternativa "E" no fue considerada como prioritaria en ninguna de las seis evaluaciones realizadas por ambos grupos.

Luego de completar la tabulación, se procede al cálculo de los promedios para cada grupo, obteniendo los siguientes resultados en la Tabla [30].

Tabla 30. Promedios alternativas grupo A y B

| Promedio grupo A | | Promedio grupo B | |
|------------------|--------|------------------|---------|
| A | 0,3166 | A | 0,15800 |
| B | 0,2553 | B | 0,30457 |
| C | 0,0673 | C | 0,13882 |
| D | 0,2373 | D | 0,21157 |
| E | 0,0235 | E | 0,06526 |
| F | 0,1001 | F | 0,12178 |

Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia, el margen de error entre las alternativas de ambos grupos es bastante alto. En el caso del grupo A, el promedio más alto es de 0,3166 para la alternativa "A", seguido de la alternativa "B" con 0,2553. En el tercer lugar se encuentra la alternativa "D" con 0,2373 y finalmente "F" con 0,1001 siendo la cifra con de menor promedio.

En el grupo B, la alternativa "B" tiene el más alto promedio con 0,15800 siendo el doble de la alternativa "A". En el segundo lugar se encuentra la alternativa "D" con 0,21157 y finalmente la alternativa "C" con 0,13882 con una diferencia de casi 0,16 con el promedio más alto.

Después de calcular los promedios, se procede a identificar las diferencias o errores entre los mismos, con el objetivo de determinar cuáles son las alternativas más viables e implementables. El análisis de las diferencias o errores entre los promedios es una fase fundamental en el proceso de toma de decisiones. Al calcular los promedios, se obtiene una medida general de la evaluación de cada alternativa. Sin embargo, al identificar las disparidades entre estos promedios, se revelan las áreas en las que existen divergencias en las opiniones de los evaluadores. Estas discrepancias pueden surgir debido a interpretaciones variadas de los criterios de evaluación o a la asignación de pesos diferentes a los mismos. A continuación, se presenta la Tabla [31] donde se evidencian las diferencias o errores identificados entre el promedio de cada alternativa.

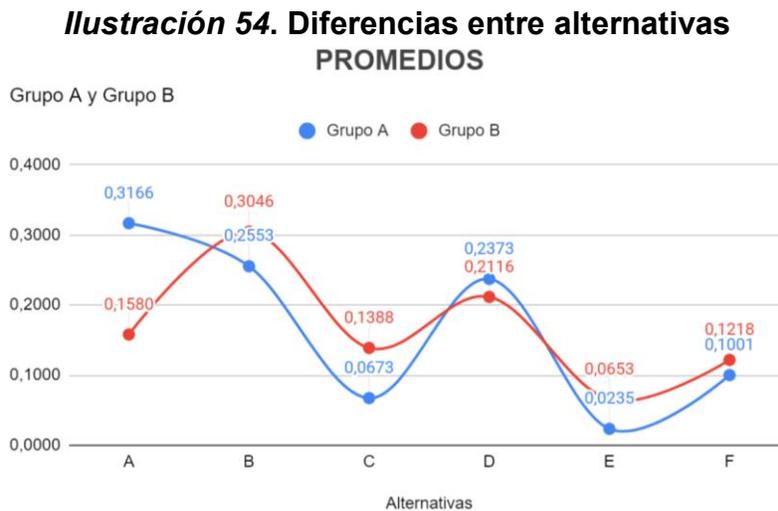
Tabla 31. Diferencias entre alternativas

| Diferencia | |
|------------|----------|
| A | 0,158583 |
| B | 0,049270 |
| C | 0,071513 |
| D | 0,025690 |
| E | 0,041803 |
| F | 0,021687 |

Fuente: Elaboración propia

La tabla revela notables disparidades entre las alternativas evaluadas, siendo la alternativa "A" la que presenta la mayor diferencia, con un marcado desvío de 0,15 con respecto al promedio. Esta divergencia destaca como la más significativa entre todas las opciones consideradas. De manera similar, la alternativa "C" muestra una variación considerable, con una diferencia de 0,07 en comparación con el promedio, según se aprecia en la Ilustración [54].

Además, se evidencia que, a pesar de la coincidencia entre los evaluadores en tres de las cuatro alternativas que deben ser seleccionadas, surge una discrepancia en la elección de la alternativa restante. Esta falta de consenso se manifiesta especialmente entre dos opciones: "C" y "F". Los evaluadores no llegan a un acuerdo sobre cuál de estas alternativas debería ocupar el espacio vacante.



Fuente: Elaboración propia

La necesidad de una segunda etapa de evaluación surge a raíz de la complejidad inherente a la elección de las alternativas óptimas para la ubicación de contenedores. Durante la primera evaluación, se evidenció una discrepancia significativa entre los expertos respecto a las preferencias y prioridades en la selección de ubicaciones. Esta falta de consenso puede atribuirse a diversos factores, como interpretaciones divergentes de los datos, consideraciones subjetivas no completamente alineadas o incluso la influencia de factores externos no inicialmente contemplados.

La implementación de esta estrategia de proporcionar a cada evaluador una breve síntesis de los resultados anteriores busca no solo mejorar la consistencia en las

decisiones, sino también promover un proceso de aprendizaje y ajuste continuo. Al brindar a los evaluadores una visión general de las prioridades identificadas, se fomenta una comprensión más profunda de los factores que influyen en la selección de ubicaciones óptimas para los contenedores. Esto no solo ayuda a alinear las decisiones con los objetivos establecidos, sino que también permite que los evaluadores ajusten sus enfoques y consideren más plenamente los aspectos clave del proyecto.

Además, al aprovechar la retroalimentación proporcionada en la fase inicial de evaluación, se fortalece el proceso de toma de decisiones al incorporar la experiencia y conocimientos adquiridos durante la primera ronda. Esta adaptabilidad y mejora continua son fundamentales para garantizar que la segunda evaluación sea más efectiva y contribuya a la identificación de ubicaciones óptimas para los contenedores de manera más consensuada y bien fundamentada.

Evaluación 1, etapa 2

Los resultados de la evaluación indican que el evaluador tiene cuatro prioridades, y se destaca una similitud en el peso asignado a cada una, como se muestra en la Ilustración [55].

Ilustración 55. Evaluación 1 software SuperDecisions, etapa 2

| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.23006 | 0.102632 |
| No Icon | Contenedor B | 0.23689 | 0.105679 |
| No Icon | Contenedor C | 0.04849 | 0.021630 |
| No Icon | Contenedor D | 0.24326 | 0.108524 |
| No Icon | Contenedor E | 0.02157 | 0.009622 |
| No Icon | Contenedor F | 0.21974 | 0.098030 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos a través de la matriz de prioridad ofrecen una visión detallada de los subcriterios y criterios evaluados por el primer evaluador como se evidencia en la Tabla [32]. Destacan cuatro elementos claves y también se tiene en cuenta el elemento que menos relevancia a comparación a los demás criterios y subcriterios en la evaluación.

Criterios y subcriterios con más relevancia en la evaluación:

- **Durabilidad y seguridad de los contenedores (77%):** Este criterio emerge como uno de los principales según el evaluador, con un considerable 77% en la evaluación.
- **Operación de rutas (75%):** Con un porcentaje alto, similar al primero, este subcriterio se posiciona como otro aspecto importante, marcando un 75% en su evaluación.
- **Evaluación de accesibilidad (62%):** Este criterio también juega un rol importante, alcanzando un sólido 62% en la evaluación general.
- **Evaluación de costos iniciales para implementación de contenedores (56%):** Este criterio muestra una marcada diferencia, destacando significativamente con un alto porcentaje del 56%.

Criterios o subcriterio menos relevante en la evaluación:

- **Consideración de eventos y festividades (0,4%):** Se puede observar que este es el criterio que tiene menos valor el cual representa un porcentaje de 0.4% tiene el porcentaje más bajo, lo que sugiere que este criterio es el menos relevante o menos ponderado según la evaluación representada en la tabla.

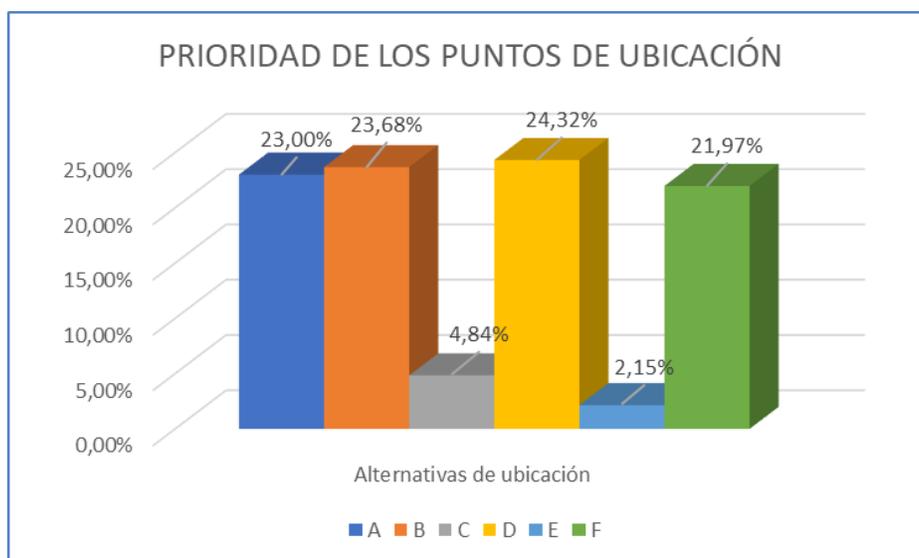
Tabla 32. Evaluación 1 criterios software SuperDecisiones, etapa 2

| EVALUADOR 1 | |
|--|---------|
| RESULTADO EVALUACION DE CRITERIOS | |
| Diseño | 0.28572 |
| Frecuencia de la recolección de residuos sólidos | 0.35714 |
| Selección del tamaño y capacidad de contenedores | 0.35714 |
| Evaluación de costos iniciales para implementación de contenedores | 0.56057 |
| Evaluar la eficiencia de recolección | 0.09717 |
| Planificación de costos operativos a largo plazo | 0.34226 |
| Capacidad y tamaño adecuado de contenedores | 0.05217 |
| Durabilidad y seguridad de los contenedores | 0.77392 |
| Elección tipo de contenedor | 0.17392 |
| PROPUESTA | 0.00000 |
| Consideración de eventos y festividades | 0.04999 |
| Operación de contenedores para la recolección de residuos | 0.19515 |
| Período de operación de rutas | 0.75486 |
| Consideración de las distancias de puntos de venta | 0.14375 |
| Evaluación de accesibilidad | 0.61913 |
| Evaluación las variaciones estacionales | 0.23712 |

Fuente: Elaboración propia

El gráfico de barras de la Ilustración [56] muestra claramente la preferencia entre las alternativas evaluadas por parte del evaluador uno. La alternativa con mayor respaldo es la 'D', con un porcentaje del 24,3%. En segundo lugar, la alternativa 'B' sigue de cerca con un 23,6%, manteniéndose significativamente próxima a la primera opción. La tercera opción más seleccionada es la 'A', con un porcentaje del 23%, mientras que la alternativa 'F' se sitúa en la última posición entre las cuatro opciones, con un porcentaje del 21,9%.

Ilustración 56. Evaluación 1 alternativas estadísticas, etapa 2



Fuente: Elaboración propia

Evaluación 2, etapa 2:

Los resultados de la evaluación indican que el evaluador número dos tiene cuatro prioridades las cuales siguen siendo las mismas que la anterior evaluación y se le asigna a cada una de las alternativas un porcentaje en donde nos arroja los siguientes resultados de alternativas, como se muestra en la Ilustración [57].

Ilustración 57. Evaluación 2 alternativas software SuperDecisions, etapa 2

| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.22996 | 0.106556 |
| No Icon | Contenedor B | 0.22909 | 0.106153 |
| No Icon | Contenedor C | 0.03790 | 0.017560 |
| No Icon | Contenedor D | 0.23628 | 0.109483 |
| No Icon | Contenedor E | 0.03865 | 0.017907 |
| No Icon | Contenedor F | 0.22813 | 0.105705 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados derivados del análisis de prioridades revelan una perspectiva detallada de los subcriterios y criterios evaluados por el segundo experto como se presenta en la Tabla [33]. Se identifican cuatro aspectos fundamentales y se considera especialmente el componente de menor relevancia en comparación con los otros criterios y subcriterios durante la evaluación. Estos se enuncian a continuación:

Criterios y subcriterios con más relevancia en la evaluación:

- **Planificación de costos operativos a largo plazo (47.46%):** Este criterio destaca como uno de los más importantes, con una alta valoración en la evaluación.
- **Evaluar la eficiencia de recolección (45.76%):** Este criterio también se sitúa entre los más relevantes, mostrando su importancia en la evaluación general.
- **Operación de contenedores para la recolección de residuos (36.36%):** Aunque ligeramente menos que los dos anteriores, este criterio sigue siendo significativo en la evaluación.
- **Período de operación de rutas (36.36%):** Similar al criterio anterior, este también se encuentra entre los más destacados, reflejando su importancia en la evaluación general.

Criterios o subcriterio menos relevante en la evaluación:

- **Evaluación de costos iniciales para implementación de contenedores (6.78%):** Este criterio tiene el porcentaje más bajo entre los evaluados,

indicando que fue menos valorado o relevante en comparación con los otros criterios en esta evaluación.

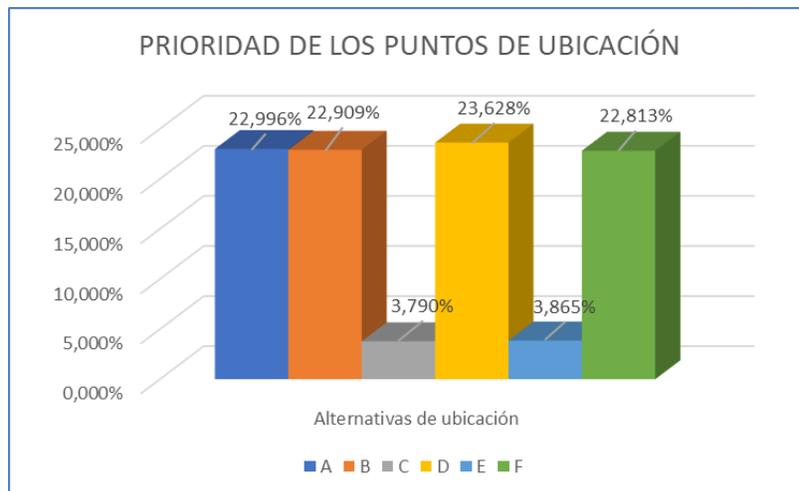
Tabla 33. Evaluación 2 criterios software SuperDecisions, etapa 2

| EVALUADOR 2 | |
|--|---------|
| RESULTADO EVALUACIÓN DE CRITERIOS | |
| Diseño | 0.28571 |
| Frecuencia de la recolección de residuos sólidos | 0.35714 |
| Selección del tamaño y capacidad de contenedores | 0.35714 |
| Evaluación de costos iniciales para implementación de contenedores | 0.06779 |
| Evaluar la eficiencia de recolección | 0.45763 |
| Planificación de costos operativos a largo plazo | 0.47458 |
| Capacidad y tamaño adecuado de contenedores | 0.35714 |
| Durabilidad y seguridad de los contenedores | 0.35714 |
| Elección tipo de contenedor | 0.28571 |
| Consideración de eventos y festividades | 0.27273 |
| Operación de contenedores para la recolección de residuos | 0.36364 |
| Período de operación de rutas | 0.36364 |
| Consideración de las distancias de puntos de venta | 0.33333 |
| Evaluación de accesibilidad | 0.33333 |
| Evaluación las variaciones estacionales | 0.33333 |

Fuente: Elaboración propia

Se generó un gráfico de barras para la segunda evaluación, en el que se destacan las alternativas 'A', 'B', 'D' y 'F' como se muestra en la Ilustración [58]. En este análisis, la opción 'D' es la favorita para la ubicación del punto de contenedor la cual muestra un porcentaje del 23.62%. Le sigue la ubicación 'A', con un 22.96%. Las dos últimas alternativas elegidas por el experto son 'B' y 'F', con porcentajes de 22.90% y 22.81% respectivamente, unos porcentajes que no presentan una gran variación a comparación de las demás evaluaciones que se tienen.

Ilustración 58. Evaluación 2 alternativas estadísticas, etapa 2

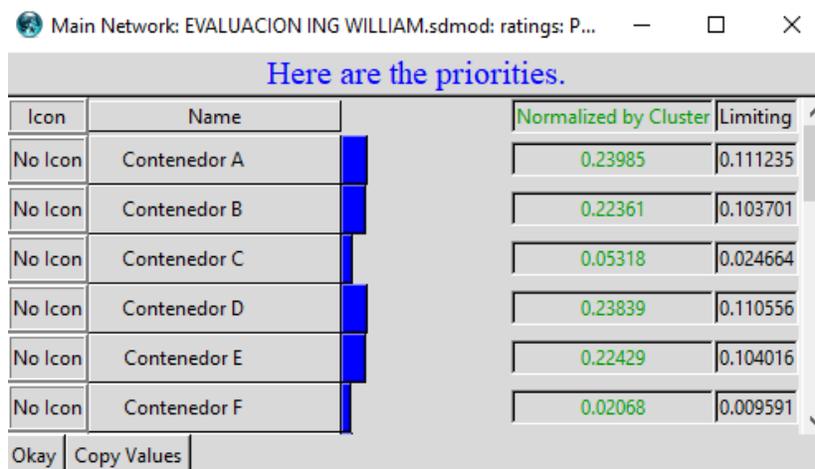


Fuente: Elaboración propia

Evaluación 3, etapa 2:

Es importante resaltar que para la evaluación número tres, se presenta una variación en tanto a las alternativas, ya que en este caso la prioridad en alternativas se ve reflejada en las opciones “A”, “B”, “D”, “E” respectivamente, marcando unas diferencias con las anteriores dos evaluaciones como se evidencia en la Ilustración [59]. Cabe mencionar que para esta evaluación no hubo necesidad de volverla a realizar ya que haciendo la comparación con las demás evaluaciones tienen cierta similitud y no hay una variación relevante en las alternativas de prioridad.

Ilustración 59. Evaluación 3 alternativas software SuperDecisions, etapa 2



Here are the priorities.

| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.23985 | 0.111235 |
| No Icon | Contenedor B | 0.22361 | 0.103701 |
| No Icon | Contenedor C | 0.05318 | 0.024664 |
| No Icon | Contenedor D | 0.23839 | 0.110556 |
| No Icon | Contenedor E | 0.22429 | 0.104016 |
| No Icon | Contenedor F | 0.02068 | 0.009591 |

Okay Copy Values

Fuente: Elaboración propia

Los hallazgos obtenidos del estudio de prioridades ofrecen una visión minuciosa de los subcriterios y criterios evaluados por el tercer experto como se evidencia en la Tabla [34]. Se destacan cuatro elementos claves y se presta atención especial al componente menos relevante en relación con los demás criterios y subcriterios evaluados. A continuación, se enlistan estos aspectos:

- **Planificación de costos operativos a largo plazo (47.46%):** Este criterio destaca como uno de los más importantes, con una alta valoración en la evaluación comparado con los demás criterios y subcriterios de la evaluación, ubicándose como subcriterio más importante para el evaluador tres.
- **Evaluar la eficiencia de recolección (45.76%):** Este subcriterio también se sitúa entre los más relevantes, ubicándose como el segundo más importante para el evaluador mostrando su relevancia para tener en cuenta en la ubicación de los contenedores.

- **Operación de contenedores para la recolección de residuos (36.36%):** Aunque ligeramente menos que los dos anteriores, este criterio sigue siendo significativo en la evaluación y se enmarca como uno de los principales criterios.
- **Período de operación de rutas (36.36%):** Similar al criterio anterior, este también se encuentra entre los más destacados, reflejando su importancia en la evaluación general.

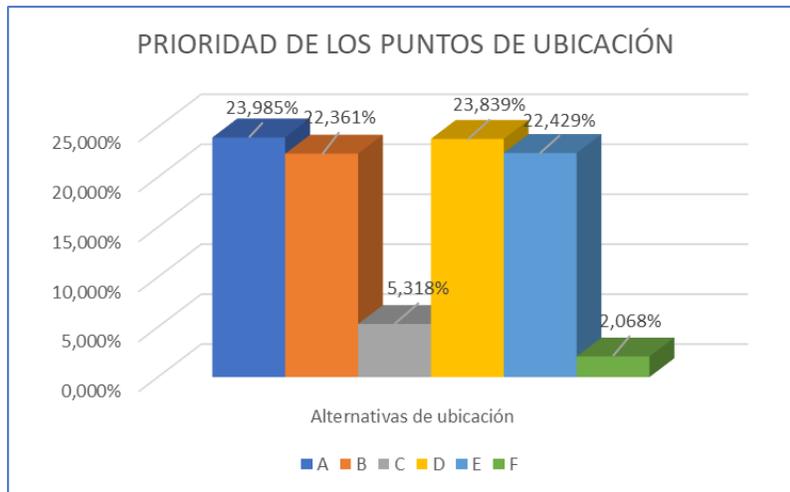
Tabla 34. Evaluación 3 criterios software SuperDecisions, etapa 2

| EVALUADOR 3 | |
|--|---------|
| RESULTADO EVALUACIÓN DE CRITERIOS | |
| Diseño | 0.16508 |
| Frecuencia de la recolección de residuos sólidos | 0.75550 |
| Selección del tamaño y capacidad de contenedores | 0.07942 |
| Evaluación de costos iniciales para implementación de contenedores | 0.46512 |
| Evaluar la eficiencia de recolección | 0.25582 |
| Planificación de costos operativos a largo plazo | 0.27907 |
| Capacidad y tamaño adecuado de contenedores | 0.78097 |
| Durabilidad y seguridad de los contenedores | 0.17829 |
| Elección tipo de contenedor | 0.04074 |
| Consideración de eventos y festividades | 0.03799 |
| Operación de contenedores para la recolección de residuos | 0.17301 |
| Período de operación de rutas | 0.78900 |
| Consideración de las distancias de puntos de venta | 0.27079 |
| Evaluación de accesibilidad | 0.42877 |
| Evaluación las variaciones estacionales | 0.30045 |

Fuente: Elaboración propia

Se ha elaborado un gráfico de barras en la Ilustración [60] que representa los resultados del evaluador número tres. Este evaluador muestra una preferencia inicial por la alternativa 'A', con un porcentaje del 23.985%. La segunda opción prioritaria es la ubicación 'D', que refleja un porcentaje ligeramente inferior, con un 23.839%. Sorprendentemente, la alternativa 'E', no seleccionada por expertos anteriores, presenta un notable porcentaje del 22.42%. Por último, la opción 'B' se sitúa cercana a la anterior alternativa, con un porcentaje del 22.36%.

Ilustración 60. Evaluación 3 alternativas estadísticas, etapa 2



Fuente: Elaboración propia

Evaluación 4, etapa 2

Según los resultados de la evaluación, se observa que el evaluador ha establecido cuatro prioridades, y se destaca una similitud en el peso asignado a cada una, reflejado en la Ilustración [61]. Las alternativas que han recibido mayor prioridad, en orden descendente, son "A", "B", "D" y "F". Este patrón de asignación de prioridades sugiere un equilibrio en la consideración del evaluador hacia estas opciones.

Ilustración 61. Evaluación 4 alternativas software SuperDecisions, etapa 2

| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.22079 | 0.101997 |
| No Icon | Contenedor B | 0.23320 | 0.107729 |
| No Icon | Contenedor C | 0.02305 | 0.010649 |
| No Icon | Contenedor D | 0.24032 | 0.111016 |
| No Icon | Contenedor E | 0.04551 | 0.021025 |
| No Icon | Contenedor F | 0.23712 | 0.109538 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados arrojados de las prioridades que se dieron para los subcriterios y criterios evaluados por el tercer experto como se evidencia en la Tabla [35]. Se destacan ciertos elementos claves como:

- **Frecuencia de la recolección de residuos sólidos (51,22%):** Este es uno de los subcriterios más importantes para la evaluación cuatro, en donde se tiene en cuenta el manejo de los residuos sólidos ubicándose con un porcentaje importante en la evaluación.
- **Consideración de eventos y festividades (50,53%):** Considerar estos eventos es crucial para ajustar la recolección según variaciones en la generación de residuos, garantizando un sistema adaptable, es por ello que el evaluador le da su respectiva importancia a este criterio. Cabe resaltar que este subcriterio no había sido escogido por los anteriores evaluadores.
- **Durabilidad y seguridad de los contenedores (47,88%):** La resistencia y seguridad de los contenedores son esenciales para mantener la integridad de los residuos y la protección del entorno
- **Evaluación de costos iniciales para implementación de contenedores (36,36%) y Planificación de costos operativos a largo plazo (36,36%):** Ambos están relacionados con el aspecto financiero y la viabilidad económica a corto y largo plazo del sistema de manejo de residuos mediante contenedores.

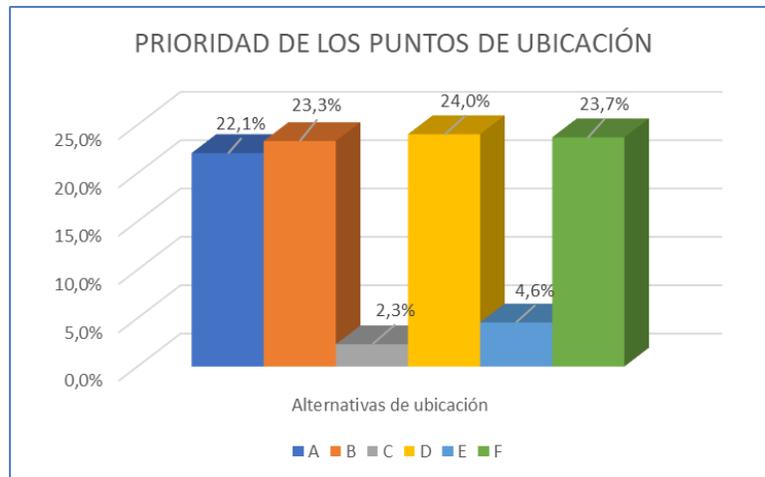
Tabla 35. Evaluación 4 criterios software SuperDecisions, etapa 2

| EVALUADOR 4 | |
|--|---------|
| RESULTADO EVALUACIÓN DE CRITERIOS | |
| Diseño | 0,16643 |
| Frecuencia de la recolección de residuos sólidos | 0,51223 |
| Selección del tamaño y capacidad de contenedores | 0,32134 |
| Evaluación de costos iniciales para implementación de contenedores | 0,36364 |
| Evaluar la eficiencia de recolección | 0,27273 |
| Planificación de costos operativos a largo plazo | 0,36364 |
| Capacidad y tamaño adecuado de contenedores | 0,25005 |
| Durabilidad y seguridad de los contenedores | 0,47884 |
| Elección tipo de contenedor | 0,27111 |
| Consideración de eventos y festividades | 0,50534 |
| Operación de contenedores para la recolección de residuos | 0,24733 |
| Período de operación de rutas | 0,24733 |
| Consideración de las distancias de puntos de venta | 0,33736 |
| Evaluación de accesibilidad | 0,35069 |
| Evaluación las variaciones estacionales | 0,31195 |

Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración [62] se identifica que la alternativa "D" lidera con un 24%, seguida de cerca por la "F" con un 24.7%, lo que la coloca en segundo lugar. La alternativa "B" se posiciona en tercer lugar, con un 23.3%, y la alternativa "A" cierra con un 22.1%, presentando una diferencia 0,09 de puntos porcentuales en comparación con la primera alternativa. Por otra parte, se tiene evidencia que la diferencia entre las alternativas "C" y "E" superan el 0,22% respecto a la alternativa "D".

Ilustración 62. Evaluación 4 alternativas estadísticas, etapa 2

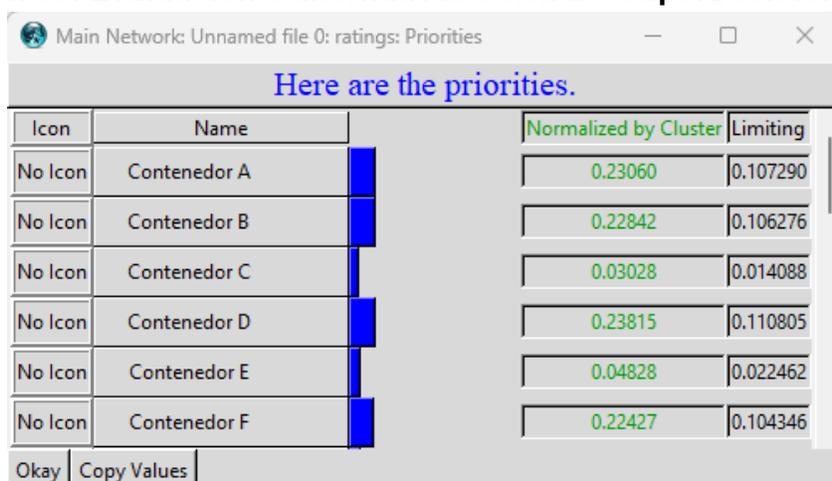


Fuente: Elaboración propia

Evaluación 5, etapa 2

Según los resultados de la evaluación, se observa que el evaluador ha establecido cuatro prioridades, y se destaca una similitud en el peso asignado a cada una, reflejado en la Ilustración [63]. Las alternativas que han recibido mayor prioridad, en orden descendente, son "A", "B", "D" y "F". Este patrón de asignación de prioridades sugiere un equilibrio en la consideración del evaluador hacia estas opciones.

Ilustración 63. Evaluación 5 alternativas software SuperDecisions, etapa 2



| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.23060 | 0.107290 |
| No Icon | Contenedor B | 0.22842 | 0.106276 |
| No Icon | Contenedor C | 0.03028 | 0.014088 |
| No Icon | Contenedor D | 0.23815 | 0.110805 |
| No Icon | Contenedor E | 0.04828 | 0.022462 |
| No Icon | Contenedor F | 0.22427 | 0.104346 |

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las prioridades que el evaluador dio a ciertos criterios y subcriterios como se muestra en la Tabla [36] se obtuvo que:

- **Durabilidad y seguridad de los contenedores (71.21%):** Destaca como el criterio más relevante, con una alta puntuación en la evaluación. Este criterio es considerado importante para el evaluador y no había sido escogido entre los anteriores evaluadores.
- **Consideración de eventos y festividades (50.66%):** Se encuentra entre los criterios más relevantes, mostrando su importancia en la evaluación general, en las anteriores cuatro evaluaciones fue considerado uno de los factores menos importantes y para este evaluador fue considerada la segunda más importante.
- **Frecuencia de la recolección de residuos sólidos (44.99%):** Este criterio también se sitúa entre los más importantes, mostrando su impacto significativo en la evaluación general.
- **Consideración de las distancias a los punto de venta (42.80%):** Aunque es el criterio que menos porcentaje ha tenido a comparación de los demás criterios seleccionados se encuentra como uno de los cuatro primeros más importantes para este expertos.

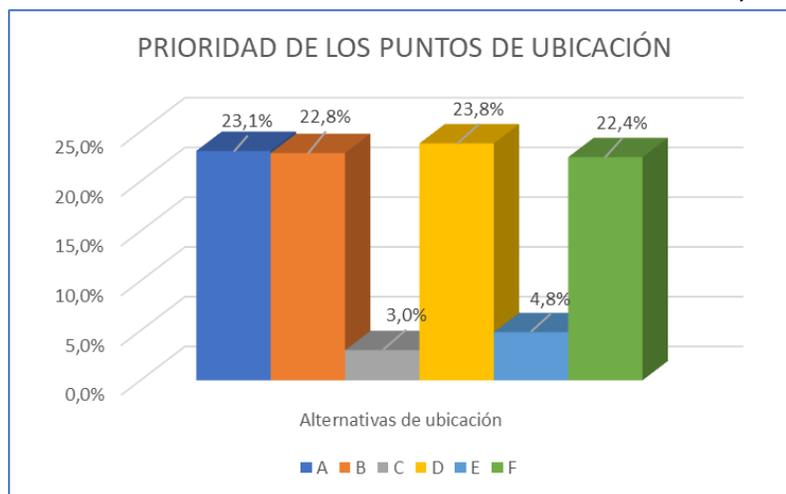
Tabla 36. Evaluación 5 criterios software SuperDecisions, etapa 2

| EVALUADOR 5 | |
|--|---------|
| RESULTADO EVALUACIÓN DE CRITERIOS | |
| Diseño | 0,21008 |
| Frecuencia de la recolección de residuos sólidos | 0,44987 |
| Selección del tamaño y capacidad de contenedores | 0,34005 |
| Evaluación de costos iniciales para implementación de contenedores | 0,36364 |
| Evaluar la eficiencia de recolección | 0,27273 |
| Planificación de costos operativos a largo plazo | 0,36364 |
| Capacidad y tamaño adecuado de contenedores | 0,15958 |
| Durabilidad y seguridad de los contenedores | 0,71209 |
| Elección tipo de contenedor | 0,12833 |
| Consideración de eventos y festividades | 0,50661 |
| Operación de contenedores para la recolección de residuos | 0,24817 |
| Período de operación de rutas | 0,24522 |
| Consideración de las distancias de puntos de venta | 0,42885 |
| Evaluación de accesibilidad | 0,32871 |
| Evaluación las variaciones estacionales | 0,24244 |

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el gráfico de barras de la Ilustración [64], se destaca que la alternativa con el mayor porcentaje de prioridad es la "D", con un 23.8%, seguida muy de cerca por la alternativa "A", que alcanza el 23.1%, con una diferencia mínima de 0.7% entre ambas. En el tercer lugar se encuentra la alternativa "B" con un 22.8%, seguida por la "F" con un 22.4%. Estos resultados revelan una distribución bastante equilibrada de prioridades entre las cuatro alternativas, indicando una proximidad en la consideración del evaluador hacia cada una de ellas en el proceso de evaluación.

Ilustración 64. Evaluación 5 alternativas estadísticas, etapa 2

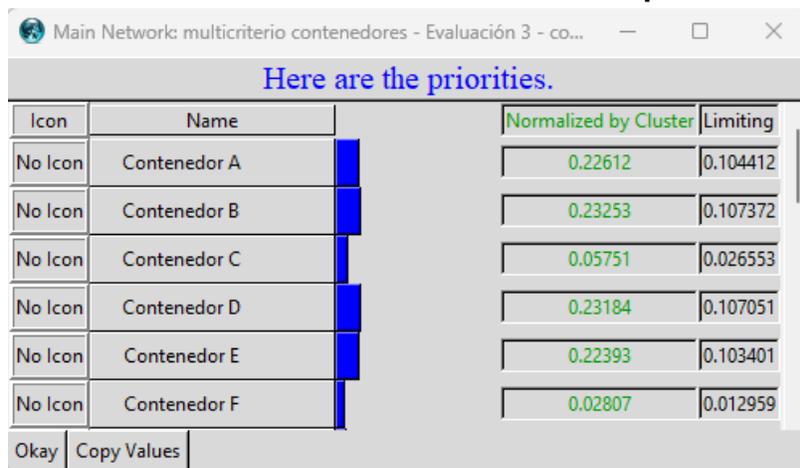


Fuente: Elaboración propia

Evaluación 6, etapa 2

Los resultados de la evaluación 6 destacan la presencia de una diferencia mínima de prioridad entre cuatro de las seis alternativas evaluadas como se evidencia en la Ilustración [65]. Este hallazgo resalta la cercanía en la ponderación asignada a estas opciones, subrayando la sutil variación en su nivel de preferencia por parte del evaluador.

Ilustración 65. Evaluación 6 alternativas software SuperDecisions, etapa 2



| Icon | Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------|--------------|-----------------------|----------|
| No Icon | Contenedor A | 0.22612 | 0.104412 |
| No Icon | Contenedor B | 0.23253 | 0.107372 |
| No Icon | Contenedor C | 0.05751 | 0.026553 |
| No Icon | Contenedor D | 0.23184 | 0.107051 |
| No Icon | Contenedor E | 0.22393 | 0.103401 |
| No Icon | Contenedor F | 0.02807 | 0.012959 |

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados presentados por el software, según la Ilustración [60], se procede a realizar un análisis detallado de la asignación ponderada de importancias a cada elemento. Este análisis se lleva a cabo con el objetivo de comprender y evaluar la relevancia relativa de cada criterio y subcriterio en el contexto de la toma de decisiones para la localización óptima de contenedores. La Tabla [37] proporciona una visión integral de cómo se han asignado las ponderaciones a los diferentes elementos, lo que facilita la interpretación de la influencia de cada factor en el proceso de selección de ubicaciones.

- **Planificación de costos operativos a largo plazo (62.80%):** Es importante resaltar que es un criterio bastante importante para este evaluador teniendo en cuenta los anteriores subcriterios, esta toma un valor porcentual bastante alto a comparación de los demás y es un criterio que se destaca solo en esta evaluación.

- **Consideración de eventos y festividades (55.28%):** Es un subcriterio que viene teniendo relevancia en las últimas evaluaciones ya que en las primeras se consideraba un criterio con baja importancia para los puntos de localización de los contenedores, en este caso se sitúa como el segundo subcriterio más importante para este experto.
- **Período de operación de rutas (48.16%):** Se encuentra entre los más relevantes dentro de todas las evaluaciones realizadas por los expertos, mostrando su importancia para la ubicación de los puntos de los contenedores.
- **Operación de contenedores para la recolección de residuos (46.32%):** Representa un valor mínimo frente a los otros criterios y subcriterios ubicándose como último en esta evaluación, pero no deja de ser importante ya que en las demás evaluaciones este subcriterio se encuentra presente.

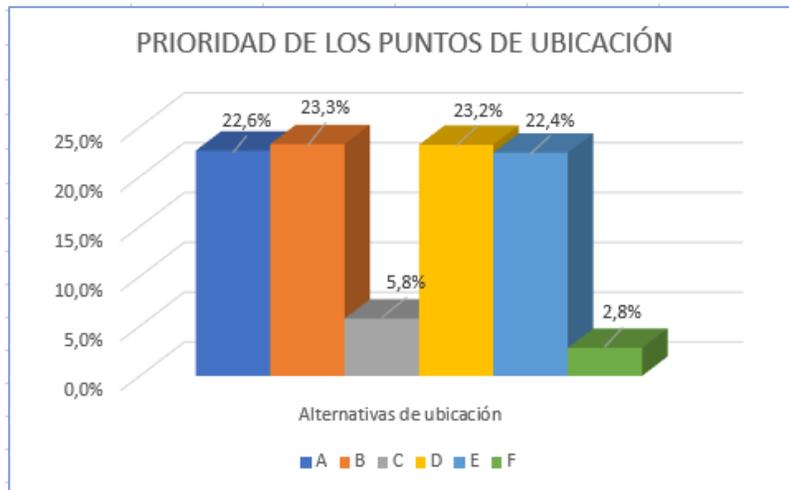
Tabla 37. Evaluación 6 criterios software SuperDecisions, etapa 2

| EVALUADOR 6 | |
|--|---------|
| RESULTADO EVALUACIÓN DE CRITERIOS | |
| Diseño | 0,23000 |
| Frecuencia de la recolección de residuos sólidos | 0,41052 |
| Selección del tamaño y capacidad de contenedores | 0,35948 |
| Evaluación de costos iniciales para implementación de contenedores | 0,12253 |
| Evaluar la eficiencia de recolección | 0,24949 |
| Planificación de costos operativos a largo plazo | 0,62798 |
| Capacidad y tamaño adecuado de contenedores | 0,37250 |
| Durabilidad y seguridad de los contenedores | 0,42839 |
| Elección tipo de contenedor | 0,19911 |
| Consideración de eventos y festividades | 0,55280 |
| Operación de contenedores para la recolección de residuos | 0,46315 |
| Período de operación de rutas | 0,48157 |
| Consideración de las distancias de puntos de venta | 0,30842 |
| Evaluación de accesibilidad | 0,36233 |
| Evaluación las variaciones estacionales | 0,32925 |

Fuente: Elaboración propia

El gráfico de barras de la Ilustración [66] revela que la alternativa "B" tiene la mayor prioridad, alcanzando un 23.2%, seguida de cerca por la opción "D" con un 23.3%, marcando una diferencia mínima de tan solo 0.1%. En la tercera posición se sitúa la alternativa "A" con un 22.6%, y finalmente, la alternativa "F" cierra el conjunto con un 22.4%.

Ilustración 66. Evaluación 6 alternativas estadísticas, etapa 2



Fuente: Elaboración propia

Con base en los datos recopilados durante la etapa dos de evaluación, se procede a realizar una nueva tabulación de los resultados mediante el software correspondiente [38] y [39]. El objetivo principal es identificar las prioridades más destacadas de todas las evaluaciones. Es fundamental destacar que esta subdivisión en grupos se lleva a cabo para facilitar un análisis más profundo y específico de los resultados. Al separar los datos en dos conjuntos, se busca identificar patrones o tendencias particulares que puedan surgir en cada grupo, proporcionando así una visión más detallada de las preferencias y prioridades de los evaluadores.

Tabla 38. Cifras evaluaciones de alternativas grupo A, etapa 2

| Evaluación 1 | | Evaluación 2 | | Evaluación 3 | |
|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| A | 0,23006 | A | 0,22996 | A | 0,23985 |
| B | 0,23689 | B | 0,22909 | B | 0,22361 |
| C | 0,04849 | C | 0,0379 | C | 0,05318 |
| D | 0,24326 | D | 0,23628 | D | 0,23839 |
| E | 0,02157 | E | 0,03865 | E | 0,22429 |
| F | 0,21974 | F | 0,22813 | F | 0,02068 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Cifras evaluaciones de alternativas grupo B, etapa 2

| Evaluación 4 | | Evaluación 5 | | Evaluación 6 | |
|--------------|----------|--------------|---------|--------------|---------|
| A | 0,22079 | A | 0,2306 | A | 0,22612 |
| B | 0,2332 | B | 0,22842 | B | 0,23253 |
| C | 0,023032 | C | 0,03028 | C | 0,05751 |
| D | 0,24032 | D | 0,23815 | D | 0,23184 |
| E | 0,04551 | E | 0,04828 | E | 0,22393 |
| F | 0,23712 | F | 0,22427 | F | 0,02807 |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas de evaluación destacan que las alternativas "A," "B," y "D" son consistentemente identificadas como prioridades en todas las evaluaciones realizadas por ambos grupos. La alternativa "F" también se posiciona como una prioridad, con dos evaluaciones en el primer grupo y otras dos en el segundo grupo. En contraste, la evaluación de la alternativa "E," aunque fue considerada como prioridad en dos de las seis evaluaciones realizadas, no logra ubicarse entre las cuatro alternativas más preferidas. Este hecho sugiere que, a pesar de su selección en algunas instancias, la alternativa "E" no es tan ampliamente favorecida como las otras opciones. Es importante destacar que la alternativa "C" no obtuvo prioridad en ninguna de las evaluaciones realizadas por los evaluadores. Este hallazgo resalta la falta de preferencia hacia la alternativa "C" en ambas etapas de evaluación.

Tabla 40. Promedios de alternativas grupo A y B, etapa 2

| Promedio grupo A | | Promedio grupo B | |
|------------------|--------|------------------|---------|
| A | 0,2333 | A | 0,22584 |
| B | 0,2299 | B | 0,23138 |
| C | 0,0465 | C | 0,03694 |
| D | 0,2393 | D | 0,23677 |
| E | 0,0948 | E | 0,10591 |
| F | 0,1562 | F | 0,16315 |

Fuente: Elaboración propia

A partir de la tabulación de los datos, se procede a calcular los promedios de ambos grupos, cuyos resultados se presentan en la Tabla [40]. Para promedio del grupo A se obtiene que la alternativa "D" con 0,2393 es el que cuenta con una alta prioridad, así como también la alternativa "A" con 0,2333 con una diferencia entre ellos de tan solo 0,006. En el tercer lugar se tiene la alternativa "B" con prioridad de 0,2299 y finalmente la alternativa "F" con 0,1562 con una diferencia de 0,0831 respecto a la primera alternativa seleccionada.

Por otra parte, en promedio del grupo B se muestra La alternativa "D" se posiciona como la más alta, con un promedio de 0,23677, seguida de "B" con 0,23138 y la alternativa "A" ocupa el tercer lugar con 0,22584. En última instancia, la alternativa "F" presenta un promedio de 0,16315.

Tabla 41. Diferencias entre alternativas, etapa 2

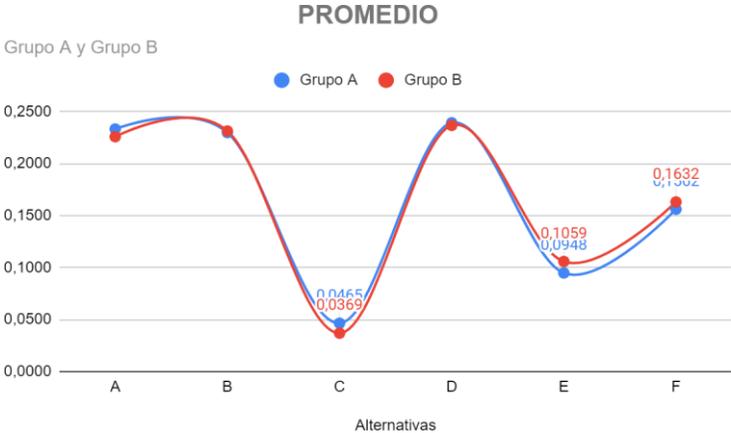
| Diferencia | |
|------------|----------|
| A | 0,007453 |
| B | 0,001520 |
| C | 0,009583 |
| D | 0,002540 |
| E | 0,011070 |
| F | 0,006970 |

Fuente: Elaboración propia

Con tabulación de los datos, se procede a calcular los promedios de ambos grupos, cuyos resultados se presentan en la Tabla [41] y la Ilustración [67]. En este análisis, se destaca que el margen de error entre las evaluaciones es relativamente pequeño. La alternativa "B" cuenta con un margen de diferencia de 0,001 siendo el menor rango, seguido de la alternativa "D" con 0,002, "F" con 0,006 y finalmente la alternativa "A" con 0,007.

Es relevante señalar que la alternativa "E," aunque fue considerada por dos evaluadores, muestra la menor priorización con un promedio de 0,1, excluyéndose de las cuatro opciones principales para la ubicación de contenedores.

Ilustración 67. Diferencias entre alternativas, etapa 2



Fuente: Elaboración propia

Para analizar las diferencias entre las dos etapas de evaluación, se llevó a cabo una comparación de los errores, como se muestra en la tabla [42]. En esta comparativa, se destaca que los errores en la primera etapa de evaluación son considerablemente elevados, lo que sugiere una mayor variabilidad y discrepancia en las prioridades asignadas a las alternativas.

En contraste, en la segunda etapa de evaluación, se observa una reducción significativa en el margen de error entre las prioridades de las alternativas seleccionadas. Estos errores mínimos indican una convergencia más efectiva en las opiniones de los evaluadores, reflejando una mayor consistencia en la identificación de las preferencias.

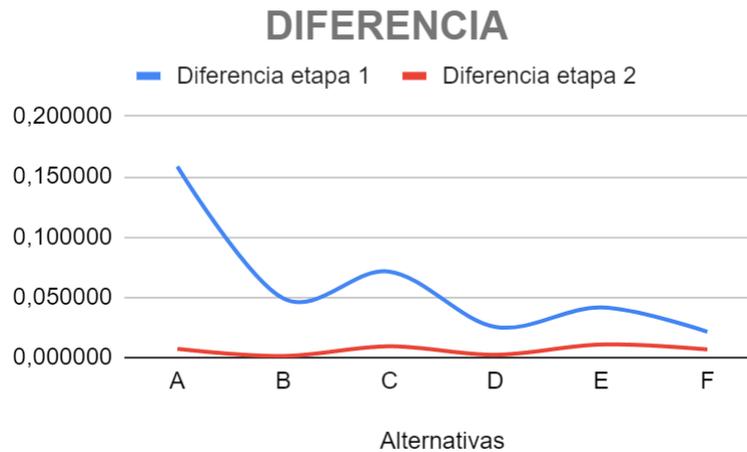
Tabla 42. Diferencias entre alternativas, etapa 1 y 2

| Alternativas | Diferencia etapa 1 | Diferencia etapa 2 |
|--------------|--------------------|--------------------|
| A | 0,158583 | 0,007453 |
| B | 0,049270 | 0,001520 |
| C | 0,071513 | 0,009583 |
| D | 0,025690 | 0,002540 |
| E | 0,041803 | 0,011070 |
| F | 0,021687 | 0,006970 |

Fuente: Elaboración propia

Este análisis resalta la mejora en la precisión y concordancia en las evaluaciones realizadas en la segunda etapa en comparación con la primera como se evidencia en la Ilustración [68]. La disminución en los errores sugiere que los evaluadores han logrado un consenso más robusto en la priorización de las alternativas durante la segunda fase de evaluación.

Ilustración 68. Diferencias entre alternativas, etapa 1 y 2



Fuente: Elaboración propia

A partir de las evaluaciones realizadas y los datos obtenidos, se evidencia que las ubicaciones de mayor prioridad para la colocación de contenedores en la zona La Esmeralda son "B", "D", "A" y "F", ordenadas de mayor a menor prioridad. Estos hallazgos se fundamentan en criterios específicos, como la accesibilidad, la demanda y otros factores clave identificados durante el análisis.

Para visualizar mejor estas ubicaciones, se presentan en las figuras adjuntas, destacando claramente los puntos "B", "D", "A" y "F". Estas representaciones gráficas facilitarán la comprensión visual de las áreas de mayor prioridad para la instalación de contenedores como se observa en la Ilustración [69].

Ilustración 69. Ubicaciones



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, es importante destacar que, en base al análisis del área, se anticipa que el contenedor situado en el punto "A" presentará únicamente un nivel de stock, mientras que los contenedores en los puntos "B", "D" y "F" contarán con dos niveles de stock. Esta información detallada acerca de la disponibilidad de contenedores en cada ubicación se convierte en un elemento crucial para una planificación eficiente de la gestión de residuos en la zona. La optimización de la distribución de los contenedores, teniendo en cuenta esta variación en los niveles de stock, garantizará una respuesta adecuada y oportuna a la demanda específica de cada punto identificado. Este enfoque estratégico contribuirá a mejorar la eficacia del sistema de gestión de residuos, asegurando un abastecimiento adecuado donde más se necesita y optimizando los recursos disponibles en la zona.

Las siguientes figuras representan los puntos de ubicación obtenidos a partir de las evaluaciones realizadas. Las figuras muestran la distribución espacial de los puntos de interés identificados durante las evaluaciones, lo que proporciona una visualización clara de la distribución geográfica de los contenedores.

Ilustración 70. Alternativa “A” de ubicación



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 71. Alternativa “B” de ubicación



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 72. Alternativa “D” de ubicación



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 73. Alternativa “F” de ubicación



Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Análisis ambiental

Se lleva a cabo un análisis exhaustivo del impacto ambiental asociado a la ubicación de contenedores, específicamente en torno a la Galería La Esmeralda. Este estudio preliminar aborda diversos aspectos, desde posibles repercusiones en el suelo y las aguas subterráneas hasta el impacto visual en el paisaje, así como los niveles de

ruido y emisiones durante las fases de construcción y operación del sistema. Además de identificar los posibles riesgos, se evalúa los beneficios ambientales que se esperan obtener a través de una gestión de residuos más efectiva en la zona. Este análisis integral permite tomar decisiones informadas y mitigar cualquier impacto negativo en el entorno natural y urbano circundante

3.4.1.1 Requisitos legales

Los requisitos legales que una organización en Colombia debe tener en cuenta para cumplir con la norma ISO 14001 pueden variar dependiendo de su sector y actividades específicas [76]. La matriz de requisitos legales conforme a la norma ISO 14001 es una herramienta fundamental que permitió identificar, evaluar y cumplir con las obligaciones legales y otros requisitos aplicables relacionados con el medio ambiente. Para la evaluación de esta matriz se tiene en cuenta dos escalas, la escala de valoración que se muestra en la Tabla [43] y la escala de interpretación que se muestra en la Tabla [44], estas escalas permiten realizar la evaluación mediante valores y clasificación de los mismos.

Tabla 43. Escala de valoración

| ESCALA DE VALORACION | |
|----------------------|-----------------|
| 1 | NO CUMPLE |
| 2 | C. PARCIALMENTE |
| 3 | CUMPLE |

Fuente: Elaboración propia

La escala de interpretación se divide en tres categorías. Si el puntaje es menor al 60%, se clasifica como "Deficiente". Si el puntaje está entre el 60% y el 80%, se denomina "Bueno". Finalmente, si el puntaje supera el 80%, se considera "Satisfactorio".

Tabla 44. Escala de interpretación

| ESCALA DE INTERPRETACION | | |
|--------------------------|-------|---------------|
| VALOR | COLOR | DENOMINACION |
| Puntaje < 60% | | DEFICIENTE |
| Puntaje < 80% | | BUENO |
| Puntaje > 80% | | SATISFACTORIO |

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la matriz de requisitos ambientales legales se encuentran varios componentes cruciales que abordan diferentes aspectos del entorno y la sostenibilidad. Estos incluyen el agua, los residuos, el aire, el ruido y otros elementos relevantes para el proyecto. Cada uno de estos componentes tiene normas y leyes específicas que regulan su manejo y mitigación de impactos ambientales. Durante el análisis de la matriz, se identificaron las normativas y legislaciones pertinentes a cada uno de estos aspectos, lo que permitió comprender los requisitos legales y ambientales que el proyecto debe cumplir en su operación. A continuación, en la Tabla [45], se presenta la matriz de requisitos que requiere el proyecto.

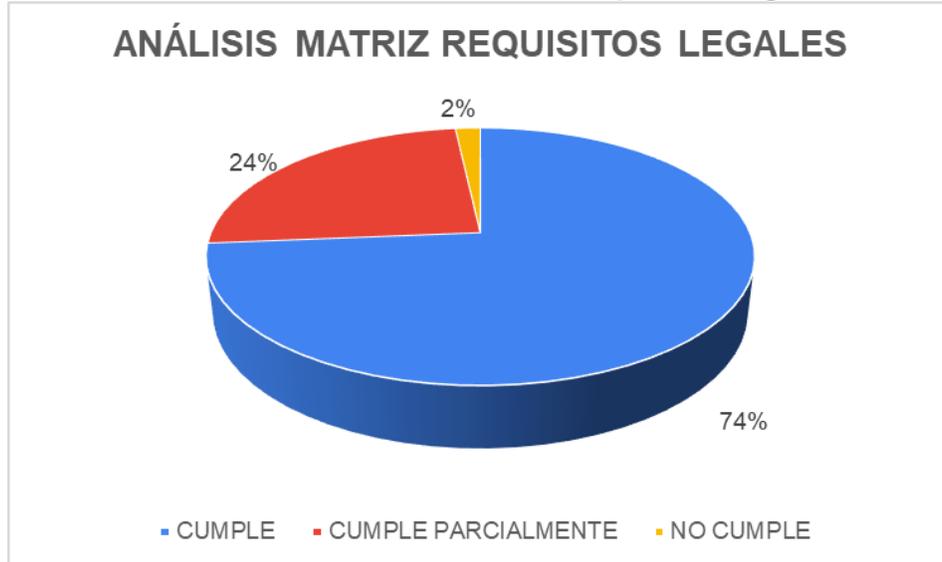
Tabla 45. Matriz requisitos Legales

| | | GESTION AMBIENTAL MATRIZ DE REQUISITOS LEGALES | | | | | | CUMPLIMIENTO | | |
|----------------|---------------------------------------|---|--------------|--|--|---|--|---------------------|-----------|--|
| COMPONENTE | ASPECTO AMBIENTAL | TIPO DEL REQUISITO LEGAL U OTRO | AÑO | TITULO DEL REQUISITO LEGAL U OTRO | ARTICULO | ENTIDAD QUE EMITE | CUMPLE | CUMPLE PARCIALMENTE | NO CUMPLE | |
| Agua | Alteración de drenajes por excavación | RESOLUCION 3957 | 2009 | Si las aguas residuales que se generan en la instalación son domésticas no se requiere registro ni permiso. Si son aguas residuales diferentes a las domésticas se debe realizar el registro ante la Secretaría Distrital de Ambiente | General | Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible | 3 | | | |
| | | LEY 373 | 1997 | Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua | Art 1 y 2 | Congreso de colombia | | 2 | | |
| | | LEY 99 | 1993 | Por el cual se establecen las tasas retributivas y compensatorias | Art 42 y 43 | Congreso de colombia | 3 | | | |
| | | DECRETO 3102 | 1997 | Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua | Art. 1,2,4,5 y 8 | Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible | 3 | | | |
| | | DECRETO 1575 | 2007 | Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano | Art. 10 | Ministerio de protección social | 3 | | | |
| | | RESOLUCION 463 | 2010 | Se adopta medidas para promover el ahorro del agua potable y desincentivar su consumo excesivo | General | Ministerio de ambiente, vivienda y Desarrollo territorial | | 2 | | |
| | | RESOLUCION 549 | 2015 | Se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Esta normativa reglamenta el Decreto 1285 de 2015, el cual modifica el Decreto 1077 de 2015 Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio | General | Ministerio de vivienda ciudad y territorio | | 2 | | |
| | | DECRETO3920 | 2010 | Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados | General | Congreso de colombia | 3 | | | |
| | | RESOLUCION 9531 | 2015 | establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. | General | Ministerio de ambiente, vivienda y Desarrollo territorial | 3 | | | |
| | Residuos | Vertidos en agua subterráneas | DECRETO 2981 | 2013 | Obligaciones de los usuarios para el almacenamiento y presentación de los residuos sólidos | Art.17 | Presidente de la Republica de Colombia | | 2 | |
| LEY 1259 | | | 2008 | Se ratifica en el territorio nacional la aplicación del compendio ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros, y se dictan otras disposiciones | General | | 3 | | | |
| RESOLUCION 754 | | | 2014 | Por medio del cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos | Art 4 | Congreso de colombia | | 2 | | |
| | | DECRETO 1077 | 2015 | OBLIGACIÓN DE ALMACENAR Y PRESENTAR. El almacenamiento y presentación de los residuos editos, son obligaciones del usuario. PRESENTACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA RECOLECCIÓN. Los residuos sólidos que se entreguen para la recolección deben estar presentados de forma tal que se evite su contacto con el medio ambiente y con las personas encargadas de la actividad | Art 2.3.2.2.2.17 y 2.3.2.2.2.18 (1077 del 2015 que modifica el Decreto 2981 de 2013) | Ministerio de ambiente, vivienda y Desarrollo territorial | 3 | | | |
| | | DECRETO 596 | 2016 | Por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo al esquema de la actividad de aprovechamiento de residuos del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recolectores de oficio | | Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible | 3 | | | |
| Aire | Calidad del aire | DECRETO 2107 | 1995 | Protección y control de la calidad del aire. | Art. 5, 6 | Congreso de colombia | | 2 | | |
| | | RESOLUCION 601 | 2006 | Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de emisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. | General | Ministerio de ambiente, vivienda y Desarrollo territorial | | 2 | | |
| | | RESOLUCION 910 | 2008 | Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 940 de 1995 y se adoptan otras disposiciones | Art. 5,6 y 8 | Ministerio de ambiente, vivienda y Desarrollo territorial | 3 | | | |
| Ruido | Ruido excesivo y constante | LEY 1383 | 2010 | Por la cual se reforma la ley 769 de 2002 Código Nacional de Tránsito | Art. 51,52 y 53 | Congreso de colombia | 3 | | | |
| | | RESOLUCION 0627 | 2006 | Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. | General | Ministerio de ambiente, vivienda y Desarrollo territorial | | | 1 | |
| Otros | Saneamiento | LEY 9 | 1979 | La Ley Sanitaria Nacional (y sus decretos reglamentarios) | Ar. 10, 14 y 15 | Ministerio de salud | 3 | | | |
| | | DECRETO 1538 | 2005 | Por el cual se reglamenta parcialmente la ley 631 de 1997 "se dispondrá almeno de un servicio sanitario accesible" | 9 literal c | Congreso de colombia | 3 | | | |
| | | RESOLUCION 2409 | 1979 | Por el cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo | Art.42 y45 | Ministerio de trabajo y seguridad social | 3 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Según la Ilustración [74], se aprecia que se cumple con el 74% de los requisitos legales. Sin embargo, a pesar de alcanzar este porcentaje, no se logra satisfacer lo requerido, ya que se debe superar el 80% del cumplimiento de los mismos. Esto se debe a que no se han llevado a cabo algunos de los requerimientos establecidos. Por otro lado, el 24% de los requisitos se cumplen de manera parcial, mientras que el apartado de "no cumple" representa el 2%, lo que indica una participación mínima en este caso. Por tanto, se llevará a cabo una mejora en el sistema de gestión ambiental y diseño.

Ilustración 74. Análisis matriz requisitos legales



Fuente: Elaboración propia

Haciendo énfasis en el requisito legal incumplido, específicamente relacionado con el ruido, el proyecto debe priorizar acciones destinadas a abordar y mitigar las emisiones de ruido en sus operaciones. Es necesario implementar medidas efectivas para cumplir con los límites y estándares establecidos por las regulaciones pertinentes en cuanto al control del ruido. Se deben realizar evaluaciones detalladas para identificar las fuentes de ruido y evaluar su impacto en el entorno circundante. Luego, se deben implementar medidas de control y mitigación adecuadas, que podrían incluir la instalación de barreras acústicas, el uso de equipos más silenciosos, la programación de actividades ruidosas en momentos específicos del día, entre otras medidas.

3.4.1.2 Análisis PESTEL

El análisis PESTEL es una herramienta esencial para comprender el entorno externo en el que opera el proyecto, examina los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales que pueden influir en sus operaciones y estrategias [77]. A nivel político, se consideraron las regulaciones gubernamentales y la estabilidad política; en lo económico, las tendencias macroeconómicas y financieras; en lo social, los cambios demográficos y las preferencias del consumidor; en lo tecnológico, las innovaciones y avances; en lo ambiental, las preocupaciones de sostenibilidad y regulaciones ambientales; y en lo legal, el marco normativo y regulador. Para realizar esta evaluación se debe tener en cuenta la clasificación cualitativa y cuantitativa como se muestra en la Tabla [46].

Tabla 46. Clasificación PESTEL

| TABLA DE CALIFICACION | | | |
|-------------------------|----------|----------|-------------|
| VALORACION CUANTITATIVA | POSITIVA | NEGATIVO | INDIFERENTE |
| VALORACION CUALITATIVA | 3 | 2 | 1 |
| PUNTAJE | 12 | 8 | 3 |

Fuente: Elaboración propia

A continuación, la matriz PESTEL construida para el proyecto.

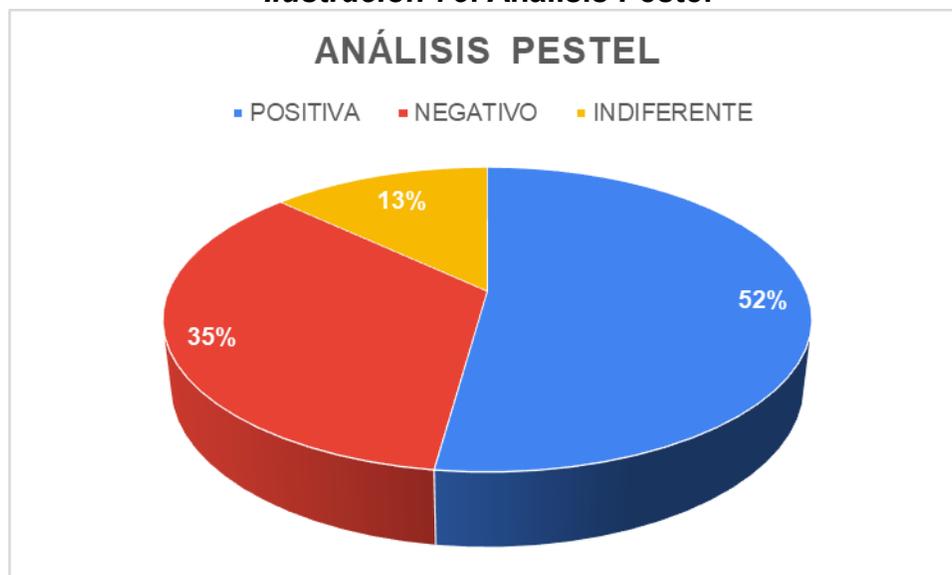
Tabla 47. MATRIZ PESTEL

| | | GESTIÓN DE CALIDAD | | | CODIGO: | |
|-------------|---|----------------------|---------------------------|----------------------|-------------|--|
| | | PESTAL | | | VERSIÓN: | |
| FACTOR | DETALLE | CORTO (< 4 meses) | PLAZO | | IMPACTO | |
| | | | MEDIANO (4 - 12 meses) | LARGO (>12 meses) | | |
| POLÍTICO | Políticas y regulaciones municipales sobre gestión de residuos sólidos. | | x | | Positivo | |
| | Incentivos políticos | x | x | | Positivo | |
| | Cooperación interinstitucional | x | x | | Positivo | |
| | Estabilidad política | x | x | | Positivo | |
| | Seguridad jurídica | x | x | | Positivo | |
| ECONÓMICO | Costos | x | | | Positivo | |
| | Financiamiento | | x | | Positivo | |
| | Impacto económico | | | x | Indiferente | |
| | Retorno de la inversión | | x | x | Positivo | |
| SOCIAL | Aceptación social y cultural | x | | | Positivo | |
| | Movilidad peatonal y vehicular | x | | | Negativo | |
| | Seguridad y salud ocupacional | x | | | Positivo | |
| | Impacto empleo | | | x | Indiferente | |
| | Hábitos y comportamiento | | x | x | Negativo | |
| | Accesibilidad | x | | | Indiferente | |
| TECNOLÓGICO | Sistemas de control | | | x | Positivo | |
| | Automatización | x | x | x | Positivo | |
| | Conectividad | x | x | | Positivo | |
| AMBIENTAL | Impacto visual y paisajístico | x | | | Negativo | |
| | Riesgos de filtración | | x | | Negativo | |
| | Generación de olores | x | | | Negativo | |
| | Emissiones | x | x | | Negativo | |
| | Ruido ambiental | x | x | x | Negativo | |
| LEGALES | Normativas y regulaciones | x | x | x | Negativo | |

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos por la clasificación evidenciados en la Ilustración [69], se realiza el siguiente análisis.

Ilustración 75. Análisis Pestel

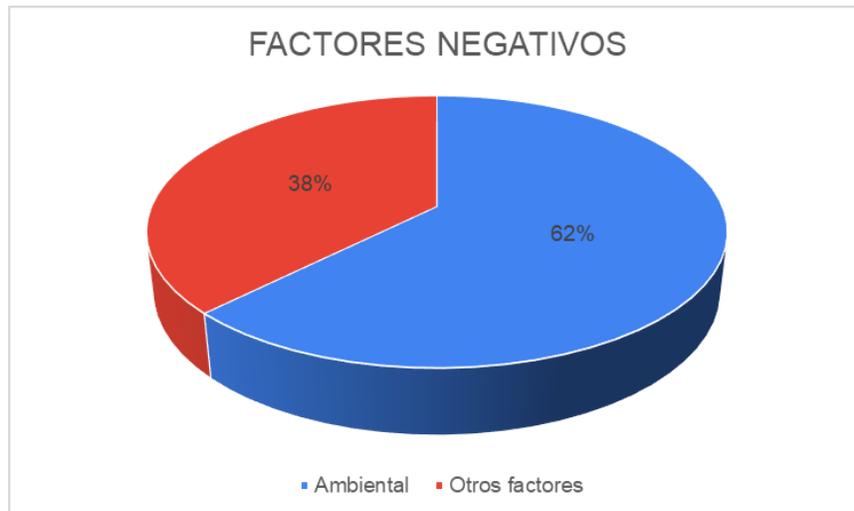


Fuente: Elaboración propia

Para el análisis PESTEL se tiene en cuenta los impactos positivos, negativos e indiferentes, en donde los aspectos indiferentes se posicionan con un porcentaje del 13%, estos aspectos no representan un riesgo significativo ni tienen un impacto positivo directo en el proyecto, en este caso 3 de los de los 23 factores evaluados representan un impacto neutro o indiferente, aunque la contribución es mínima, es importante tenerla en cuenta para comprender el contexto completo del entorno. De la misma manera se tienen en cuenta los aspectos positivos este es el grupo más grande de los factores identificados en la matriz PESTEL representando una mayoría significativa, estos factores tienen el potencial de impulsar el desarrollo y el éxito del proyecto en donde pueden incluir oportunidades económicas favorables, cambios en los ámbitos de recolección de residuos sólidos o tendencias sociales que puedan respaldar el proyecto, es importante resaltar que se deben identificar y aprovechar estos impactos ya que pueden ser factores cruciales para maximizar el rendimiento y de la misma manera la viabilidad del proyecto. Por último se tiene en cuenta los impactos negativos que representan un porcentaje del 35% aunque este resultado no representa una menor proporción en comparación con los aspectos positivos, los impactos negativos son significativos y se deben tener en cuenta ya que puede haber cierta implicación a la hora de la realización del proyecto, estos factores pueden incluir desafíos regulatorios, riesgos ambientales, o cambios en las condiciones del mercado que podrían obstaculizar el progreso del proyecto.

Haciendo un énfasis en los factores que pertenecen a la parte ambiental se puede evidenciar los resultados obtenidos en la Ilustración [76].

Ilustración 76. Factores negativos



Fuente: Elaboración propia

De los 8 factores negativos se puede observar que 5 pertenecen a la parte ambiental que representa un porcentaje del 62%, ya que no se tiene diseños y no se tiene documentación de un sistema de gestión ambiental que permita controlar y mejorar el componente ambiental, por otro lado los demás factores negativos tienen un porcentaje del 38%, es importante identificar y comprender detalladamente estos factores negativos ambientales para poder mitigar los riesgos y minimizar los impactos adversos en el medio ambiente y principalmente en la plaza de mercado que se está estudiando, para ello es necesario desarrollar estrategias de gestión ambiental efectivas, como medidas de mitigación de impacto, tecnologías de control de contaminación de la zona más afectada y programas de monitoreo ambiental, además de ello se debe tener un compromiso con las partes interesadas y la colaboración con las autoridades reguladoras pueden ayudar a abordar las preocupaciones ambientales y garantizar el cumplimiento de las normativas y regulaciones.

3.4.1.3 Análisis impacto ambiental (RAI)

La Revisión Ambiental Inicial (RAI) es un proceso sistemático y exhaustivo que se lleva a cabo al inicio de un proyecto, actividad o plan para identificar y evaluar los posibles impactos ambientales que pueden surgir como resultado de dicha iniciativa

[78]. Esta matriz se divide por áreas y cada una de ellas con sus respectivas actividades que se llevan a cabo dentro del proyecto.

La RAI es un componente crucial en la evaluación ambiental y la gestión ambiental de proyectos, y generalmente implica la recopilación y revisión de información sobre el entorno natural y social afectado, así como la identificación de aspectos ambientales significativos que pueden requerir atención especial.

Dentro de la identificación de los aspectos ambientales, se debe realizar una clasificación y dentro de ellas se tiene en cuenta las convenciones que se muestran en la Tabla [47].

Tabla 47. Clasificación de aspectos

| Clasificación del aspecto | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Entradas | Salidas |
| MP: Materias primas e insumos | DA: Descargas al agua |
| A: Agua salidas | RS: Residuos sólidos |
| E: Energía | VS: Vertimientos al suelo |
| | EA: Emisiones atmosféricas |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al nivel potencial que producen los aspectos ambientales identificados, estos se clasifican en dos tipos de clase:

- **Real positivo:** Esta clase incluye aquellos aspectos ambientales que generan impactos favorables o beneficiosos para el entorno y la comunidad circundante. Por ejemplo, la implementación de tecnologías limpias que reducen las emisiones de contaminantes atmosféricos o la adopción de prácticas de gestión de residuos que promueven el reciclaje y la reutilización de materiales.
- **Real negativo:** Por otro lado, esta clase abarca los aspectos ambientales que pueden ocasionar impactos adversos o perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. Esto podría incluir la emisión de contaminantes atmosféricos, la generación de residuos tóxicos o la alteración del equilibrio ecológico de un ecosistema.

Por otro lado, para realizar la valorización de los aspectos ambientales se tiene en cuenta los criterios expuestos en la Tabla [48].

Tabla 48. Clasificación de aspectos ambientales

| Clasificación del aspecto | |
|---|--|
| Crterios | Calificación |
| Frecuencia (FR): Veces que puede desencadenarse un impacto | 3 = Continuo: el aspecto ocurre de manera permanente |
| | 2 = Frecuente: el aspecto ocurre más de una vez al mes |
| | 1 = Infrecuente: el aspecto ocurre esporádicamente sin regularidad |
| Probabilidad (PR): de que un aspecto ocasione un daño apreciable | 3 = Muy probable: posibilidad de que un aspecto ocasione un impacto apreciable |
| | 2 = Moderado: posibilidad razonable de que un aspecto ocasione un impacto apreciable |
| | 1 = Poco probable: posibilidad menor |
| Cantidad (CT): de acuerdo al producido semanal o mensual | 3 = Alta |
| | 2 = Media |
| | 1 = Baja |
| Severidad (SV): Grado de intensidad del impacto, considerando la capacidad del medio ambiente para soportarlo o revertir sus efectos y reestablecer la condición original | 3 = Serio: puede resultar en un daño severo o muy amplio a la salud humana o el ambiental |
| | 2 = Moderado: cuando se causa un mediano impacto sobre los recursos naturales y el ser humano, pero puede ser controlado inmediatamente por la empresa |
| | 1 = Menor: ninguno o poco efecto medio ambiental en los recursos naturales y el ser humano. Eventos que afectan el ambiente, pero mediante una acción sencilla inmeditada, el potencial daño puede ser remediado |
| Alcance (AL): Área de impacto | 3 = Zonal: poblaciones o áreas geográficas amplias |
| | 2 = Local: más de una estación del trabajo |
| | 1 = Puntual: puestos de trabajo |
| Reversibilidad (REV) | 2 = Irreversible: recuperable a largo plazo o irre recuperables con afectación a la salud humana y al ambiente |
| | 1 = Reversible: recuperable de forma inmediata y en unos pocos años |
| Legislación Aplicable (LEG): Intereses reglamentarios y sociales | 3 = Existe norma de obligatorio cumplimiento |
| | 2 = Se cumple parcialmente |
| | 1 = Se cumple plenamente o no existe legislación |

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para clasificar el rango de priorización, se tiene en cuenta la siguiente información expuesta en la Tabla [49]. En dicha tabla, se establecen tres niveles de prioridad: alta, media y baja. Los aspectos ambientales se categorizan en prioridad alta si su puntuación es mayor a 13, en prioridad media si su puntuación se encuentra entre 10.12 y 13, y en prioridad baja si su puntuación es menor a 9. Este método de clasificación ayuda a identificar de manera clara y efectiva los aspectos ambientales que requieren una atención inmediata y prioritaria, aquellos que necesitan seguimiento y atención regular, y aquellos que pueden abordarse en un momento posterior o con menor urgencia.

Tabla 49. Rango de priorización

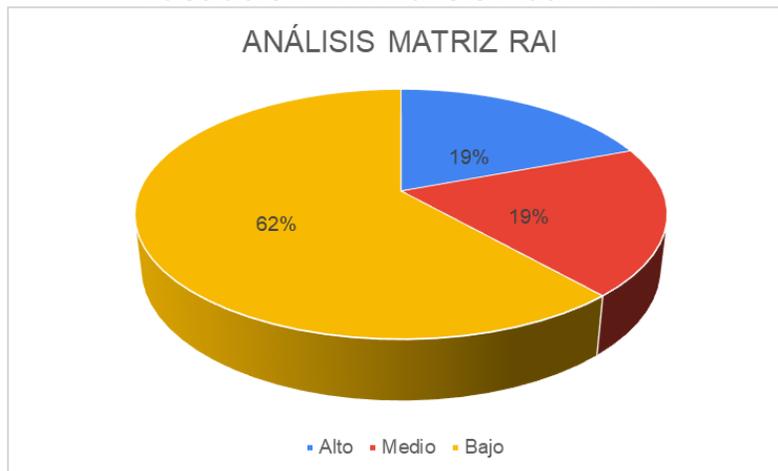
| RANGO DE PRIORIZACIÓN | |
|-----------------------|---------------|
| Prioridad | Rango |
| Alto | Mayores a 13 |
| Medio | Entre 10 - 12 |
| Bajo | Menor a 9 |

Fuente: Elaboración propia

A partir de la información anterior, se construye la matriz RAI que ese encuentra en el Anexo [3], considerando cuatro áreas físicas principales: selección del diseño del proyecto, preparación del terreno e instalación de los contenedores, operación y mantenimiento de los contenedores, y finalmente gestión de residuos y recolección. Para cada una de estas áreas, se especificaron las actividades correspondientes, sus aspectos e impactos, y posteriormente se les asignó una calificación según su relevancia y consecuencias.

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por la matriz RAI, se puede analizar que el impacto generado se distribuye de la siguiente manera Ilustración [77]: el 62% de las actividades exhibe un impacto bajo, con una participación de 16. Por otro lado, el 19% de las actividades presenta un alto impacto, con una participación de 5. Finalmente, el restante 19% de las actividades muestra un impacto medio, con la participación correspondiente a 5.

Ilustración 77. Análisis matriz RAI



Fuente: Elaboración propia

Haciendo énfasis en los impactos negativos identificados, se puede evidenciar que todos ellos están relacionados con el área de "Preparación del terreno e instalación de los contenedores". Esto sugiere que esta etapa del proceso presenta desafíos

significativos en términos de posibles consecuencias adversas para el entorno y el proyecto en general. A partir de esto se realiza el siguiente análisis:

- **Excavación del área de instalación** (Preparación del suelo mediante la excavación necesaria para la instalación de los contenedores soterrados): genera un alto impacto ambiental debido a la alteración significativa del suelo y los ecosistemas circundantes, dentro de la matriz, es una de las actividades que generan un alto nivel de impacto con 15 de puntaje. Esta actividad implica la remoción de tierra y la interrupción del entorno natural en este caso, las obras públicas, lo que puede provocar erosión del suelo y contaminación de aguas subterráneas. Para mitigar este impacto, es importante implementar prácticas de excavación sostenibles, como la planificación cuidadosa del sitio, el uso de técnicas de excavación que minimicen la perturbación del suelo, la aplicación de medidas de control de la erosión y la gestión adecuada de los residuos y contaminantes generados durante el proceso.
- **Nivelación de terreno** (Asegurar que el terreno esté nivelado y adecuadamente preparado para la instalación de los contenedores): Esta actividad genera un impacto ambiental debido a que altera el estado natural del área, en este caso la compactación del suelo, en el cual se debe cortar y rellenar el suelo hasta que se consigue el nivel deseado, generando también contaminación por residuos. Para disminuir esta compactación y mitigar los aspectos negativos generados por la nivelación del terreno, existen algunas alternativas, entre ellas utilizar maquinaria ligera, distribución adecuada del peso en el suelo y limitar el tráfico vehicular y de personas en el área. También se deben tener en cuenta estrategias para restaurar la zona afectada por la nivelación del suelo y la gestión adecuada de los residuos.
- **Instalación de sistemas de drenaje** (Implementar sistemas de drenaje apropiados para evitar problemas de acumulación de agua alrededor de los contenedores): La instalación de sistemas de drenaje puede generar impactos ambientales significativos debido al cambio o alteración del flujo del agua y la contaminación de afluentes cercanos, lo que puede generar la introducción de contaminantes en los ecosistemas acuáticos. Para controlar este impacto, se podría implementar la instalación de drenajes impermeables que eviten derrames y filtraciones no deseadas. Además, un monitoreo constante sería importante para identificar daños potenciales a tiempo y prevenir la contaminación mediante acciones correctivas oportunas.

- **Instalación física de los contenedores en lugares designados:** Esta actividad representa un rango alto ya que con la instalación de los contenedores de alguna u otra manera habrá afectaciones ya sea en el suelo o en el medio ambiente, es importante resaltar que se puede realizar una gestión de residuos que desechan a la hora de realizar la construcción, una de las posibles alternativas de solución sería implementar prácticas de gestión de residuos durante la instalación para minimizar la generación de desechos y de la misma manera asegurar la disposición adecuada, también como otra posible alternativa de solución se propone reciclar o reutilizar materiales siempre que sea posible y desechar los residuos de manera responsable en instalaciones autorizadas. Anteriormente se nombra las afectaciones que puede llegar a tener los suelos, para ello se propone un control para ello, en donde se toman medidas para prevenir la contaminación del suelo y el agua durante la instalación, como la colocación de barreras de contención para evitar la filtración de productos químicos o materiales de construcción que puedan afectar el suelo o el agua. También es importante tener en cuenta lo que es el ruido y las vibraciones a la hora de la instalación física de los contenedores para ello lo que se plantea es implementar medidas para reducir el ruido y las vibraciones durante la instalación, como el uso de equipos y maquinaria silenciosa, la instalación de barreras acústicas y la programación de actividades ruidosas en horarios que minimicen las molestias para la comunidad. Por último, es importante impartir por lo que es la educación ambiental y la sensibilización en las personas que viven o trabajan en la plaza de mercado La Esmeralda en donde se propone realizar actividades de educación ambiental y sensibilización para aumentar la conciencia sobre los impactos ambientales de la instalación y la importancia de mitigarlos.
- **Conectar los contenedores soterrados a los sistemas de recolección de residuos:** Esta actividad también presenta un rango elevado en los resultados de la matriz la cual se posiciona con un puntaje de 13 en la matriz lo que indica que es alto es por ello que se plantean ciertas alternativas de solución si surge algún problema de conexión de los contenedores soterrados a los sistemas de recolección, para ello se plantea implementar sistemas de monitoreo remoto en los contenedores soterrados para recopilar datos sobre el llenado y la capacidad restante de los residuos recolectados, también se plantea utilizar estos datos para optimizar las rutas de recolección, reduciendo la distancia recorrida de los camiones recolectores y de la misma manera la minimización de combustible de los mismos. También se plantea la idea de la promoción de la economía circular en donde se fomente la adopción de prácticas entre los usuarios de los contenedores

soterrados, en este caso las personas que trabajan o viven cerca de la plaza de mercado de Esmeralda o a los puntos que se estudiaron para la ubicación de los mismos, así promoviendo la reutilización y el reciclaje de los materiales, estableciendo puntos de recogida para la recolección de materiales reciclables específicos y así poder facilitar su procesamiento y reintegración en la cadena de suministro.

CAPITULO 3. CONCLUSIONES Y RECOMENTACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La información obtenida a través de la caracterización de la zona de estudio y del servicio de recolección de residuos revela un problema evidente de acumulación en los lugares donde se encuentran ubicados los contenedores. Esta acumulación conduce a que los contenedores alcancen su capacidad máxima y provoquen la generación de más basura en áreas distantes de los contenedores cercanos. Además, el análisis de la demanda de contenedores indica que se requieren implementar cuatro puntos de recolección para satisfacer la cantidad de residuos generados en la zona. De estos puntos, tres deben estar equipados con contenedores dobles y uno con un contenedor sencillo. Este análisis resalta la importancia de una distribución eficiente de los recursos de recolección de residuos para mantener un entorno limpio y saludable en la zona estudiada. La implementación adecuada de los contenedores y la ubicación estratégica de los puntos de recolección son fundamentales para gestionar eficazmente los residuos y prevenir la acumulación excesiva de basura en el área.

La selección de los criterios ha proporcionado una base sólida para la construcción del esquema ANP, lo que ha facilitado el análisis y la evaluación de las posibles ubicaciones para la implementación de los contenedores de residuos. Cada uno de los cinco criterios, junto con sus respectivos subcriterios, ha brindado un marco integral para considerar diversos aspectos relevantes, como la accesibilidad, la capacidad instalada, los costos, el diseño y el tiempo de operación. La aplicación del ANP ha permitido ponderar y comparar adecuadamente las diferentes alternativas de ubicación, lo que ha llevado a identificar las opciones más viables y estratégicas para la instalación de los contenedores. En total, se han seleccionado seis ubicaciones estratégicas basadas en los criterios establecidos. Este enfoque analítico no solo mejora la toma de decisiones, sino que también contribuye a garantizar una distribución equitativa y eficiente de los recursos de recolección de residuos. Esto, a su vez, promueve un entorno más limpio y sostenible para la comunidad en general, mejorando así la calidad de vida de los residentes y reduciendo el impacto ambiental negativo asociado con la gestión ineficiente de los residuos.

Las evaluaciones realizadas mediante el programa Superdecisions han revelado que las ubicaciones seleccionadas (A, B, D y F) cumplen satisfactoriamente con los criterios establecidos. Estas áreas han demostrado ser las más adecuadas para albergar los contenedores soterrados, presentando puntajes superiores en las diferentes evaluaciones realizadas a los expertos, en donde el punto de ubicación

con mayor puntuación es el “D” con un porcentaje del 23,80%, seguido de el se encuentra el punto de ubicación “B” con una diferencia mínima del 23,06%, como tercera ubicación favorita se encuentra la alternativa “A” con un porcentaje del 22,96% y como última opción se encuentra el punto “F” con una diferencia discriminatoria del 15,97% para este resultado se tienen en cuenta términos de eficiencia operativa, accesibilidad para usuarios y recolectores, capacidad suficiente de almacenamiento por parte de los contenedores soterrados, capacidad y tamaño, y una frecuencia de recolección de residuos optimizada. En conclusión, los resultados obtenidos del análisis en Superdecisions respaldan la elección de las ubicaciones mencionadas como las más óptimas para la implementación de contenedores soterrados. Estos hallazgos son fundamentales para la toma de decisiones informadas que garantizarán una gestión eficiente y efectiva de los residuos sólidos en la Plaza de Mercado de La Esmeralda en Popayán, promoviendo un entorno más limpio, accesible y funcional para la comunidad.

Al incorporar la retroalimentación y lecciones aprendidas de la primera ronda de evaluación, los expertos pudieron ajustar sus enfoques y considerar más plenamente los factores críticos en la elección de ubicaciones óptimas. Esta adaptabilidad y mejora continua fueron fundamentales para el éxito de la segunda evaluación. El proceso permitió un análisis más informado y consensuado, resultando en la identificación de ubicaciones estratégicas que responden de manera efectiva a los objetivos del proyecto y las necesidades operativas de la empresa prestadora de servicios de aseo.

El impacto positivo del proyecto de ubicación de contenedores en la zona La Esmeralda trasciende su éxito local al convertirse en un impulso para la expansión de soluciones sostenibles La iniciativa inspiró a la empresa Urbaser a presentar una propuesta a la alcaldía de Popayán para implementar contenedores soterrados en el centro histórico, específicamente en el Parque Caldas. Este resultado destaca la capacidad del proyecto original para generar ideas innovadoras y su potencial para influir en políticas más amplias de gestión de residuos urbanos. La aceptación de la propuesta por parte de la alcaldía refleja la importancia de las iniciativas locales exitosas en la promoción de prácticas ambientalmente responsables a nivel municipal.

Después de realizar un análisis ambiental del proyecto, se concluye que el proyecto satisface las expectativas en términos generales. No obstante, se identifican áreas de mejora. En cuanto a la parte legal, el proyecto cumple en su mayoría con la normativa, salvo por el cumplimiento de la normativa de ruido, que requiere un análisis más detallado para identificar las deficiencias y aplicar medidas correctivas. Por otro lado, el análisis PESTEL revela que el proyecto aborda la mayoría de los

aspectos de manera positiva. Es importante destacar que se deben implementar estrategias específicas en los ámbitos legal y ambiental, considerando que ambos recibieron una calificación de 5 y 1 respectivamente en la evaluación cuantitativa y cualitativa.

4.2 RECOMENDACIONES

Para futuros estudios relacionados con la implementación de contenedores soterrados o temas afines, es crucial considerar las lecciones aprendidas en esta

investigación centrada en la viabilidad de estos contenedores. Aunque este estudio prioriza este criterio específico, es fundamental para proyectos futuros desarrollar un plan detallado. Dicho plan debe abordar aspectos como los costos de adquisición e instalación de los contenedores, los gastos de mantenimiento y cualquier inversión a largo plazo necesaria para garantizar el éxito y la sostenibilidad del proyecto.

La empresa de servicios públicos, Urbaser, debería considerar estas investigaciones, ya que sus resultados tendrán un impacto significativo en la recolección y gestión de residuos. La implementación de estos contenedores ampliará la capacidad de almacenamiento, generando beneficios no solo para la empresa, sino también para la comunidad en general en esta área. Esto mejorará varios aspectos relacionados con el manejo de residuos y redundará en ventajas tanto para la compañía como para la población local.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz Requisitos Legales

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1U21efFJWoGTJSd_O5QCZmzALaDrW7f3-U82adBPCzcw/edit?usp=drive_link

Anexo 2. Matriz PESTEL

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1RlewvewQinfG5lZXpRU39rS_tBigWSP0fgDaaL93Mgl/edit?usp=drive_link

Anexo 3. Matriz RAI

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1oT8anBZJ56lts5JtMjFsy_B8FY-lgktdJr4MKjZUFVU/edit?usp=drive_link

Anexo 4. Matriz riesgos y oportunidades

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1eOAvsMImQa2p4Yn1i3a5qmMK2OZ3Km04o7MUmcc_R8s/edit?usp=drive_link

Anexo 5. Software SuperDecisions

https://drive.google.com/drive/folders/1dYNJlFAwL1ise7TnzStTxMeJF7yaLsfE?usp=drive_link

Anexo 6. Estimación presupuestal

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1WU6CBI4OVJ052yfPrysmWmwD0T3XutP3/edit?usp=drive_link&oid=100900793583185702876&rtpof=true&sd=true

Anexo 7. Carta recomendación Urbaser

21 de noviembre del 2023

URBASER POPAYÁN
Carrera 4a # 2-23
Tel. 8206217

Estimados Corporación Universitaria Comfacauca "Unicomfacauca":

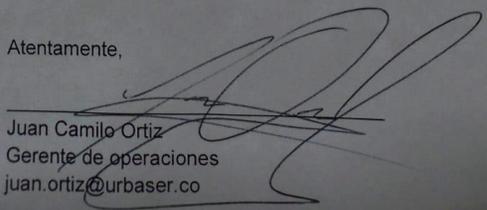
Nos dirigimos a usted en calidad de Gerente de operaciones de Urbaser, empresa prestadora de servicios de aseo en la localidad. La presente tiene como finalidad hacer constar la participación activa de la empresa en el desarrollo de la tesis titulada "Propuesta para la localización de los contenedores de residuos sólidos urbanos en la Plaza de Mercado La Esmeralda y en sus alrededores mediante la metodología ANP: un enfoque basado en accesibilidad y normatividad ambiental" realizada por los estudiantes Laura Isabel Guyumús Borrero y Brayan Alejandro Rosero Jimenez como parte de su trabajo de investigación en la localización de contenedores.

Durante el periodo comprendido entre 05 de septiembre y 07 de noviembre, los mencionados estudiantes llevaron a cabo un estudio detallado en el cual contaron con la colaboración y el respaldo de Urbaser en Popayán. La empresa proporcionó información relevante y valiosa para la elaboración de la tesis, particularmente en lo referente a la localización de contenedores y los aspectos relacionados con la gestión de residuos en la zona.

Reconocemos el esfuerzo y la dedicación de los estudiantes en la ejecución de su investigación, y estamos orgullosos de haber contribuido al desarrollo de su proyecto académico. Creemos que la información proporcionada por Urbaser en Popayán ha enriquecido significativamente la calidad y la relevancia de la tesis.

Quedamos a disposición para cualquier consulta adicional o para brindar más detalles sobre nuestra colaboración en el proyecto. Apreciamos la oportunidad de haber formado parte de esta experiencia académica y quedamos a la espera de futuras oportunidades de colaboración.

Atentamente,


Juan Camilo Ortiz
Gerente de operaciones
juan.ortiz@urbaser.co

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. A. Viafara, “El manejo de residuos sólidos orgánicos en la galería del municipio de Puerto Tejada Cauca, Colombia”, Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá D.C, 2021. [En línea]. Disponible en: https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/4811/Viafara_Carlos_2022.pdf?sequence=1. [Consultado: 03-sep-2023]
- [2] “Hoy no se habla de basura, sino de residuos que son insumos para productos: Minambiente”, *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 17-may-2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/hoy-no-se-habla-de-basura-sino-de-residuos-que-son-insumos-para-productos-minambiente/>. [Consultado: 03-sep-2023].
- [3] “Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos”, World Bank. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>. [Consultado: 16-may-2023]
- [4] N. Unidas, “Datos y cifras”.
- [5] United Nations, “Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, Brasil, 3-14 de junio de 1992 | Naciones Unidas”.
- [6] C. M. Cortés, “Estudio de los residuos sólidos en Colombia”, *Uexternado.edu.co*. [En línea]. Disponible en: <https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/34996da5-2eab-4fc3-ad8b-2eb67a322507/content>. [Consultado: 10-sep-2023].
- [7] “Ley 1259 de 2008 - Gestor Normativo”, Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34388>. [Consultado: 16-may-2023].
- [8] “Informe Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia”, Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Informe-Carga-de-Enfermedad-Ambiental-en-Colombia.aspx>. [Consultado: 10-sep-2023].
- [9] “ENCUESTA A MUNICIPIOS SOBRE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS 2019 COLOMBIA”, *Cepal.org*. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/bf1b769d-2ea1-434d-b2c3-0d1569754909/content>. [Consultado: 04-oct-2023].
- [10] “Programa de Manejo de Residuos Regional del Cauca” . Bienestar Familiar. PG14.SA. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/procesos/pg14.sa> [Consultado: 16-may-2023].
- [11] Eduardo B. Miguel Ángel T. José Antonio R. Saúl Antonio O. “Evaluación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con apoyo de dispositivos de rastreo satelital: análisis e implicaciones”. Revista Cielo. 2016. [En línea]. Disponible

en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992016000300323

[12]Deyvit C . Migue L. “Estudio de viabilidad para la ubicación de contenedores soterrados en el municipio de Fusagasugá, utilizando técnicas de análisis espacial”. Universidad de Cúcuta. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/433>

[13]Roger C. Danilo G. “Automatización de un contenedor soterrado para optimizar la gestión de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo”. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallardo. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4870869>

[14]Roger C. Danilo G. “Automatización de un contenedor soterrado para optimizar la gestión de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo”. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallardo. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4870869>

[15] “Ley 9 de 1979” - Congreso de la república, Gov.co. [En línea]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf. [Consultado: 27-oct-2023]

[16]“Ley 142 de 1994” - Congreso de la república, Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>. [Consultado: 27-oct-2023].

[17]“Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY_0253_1996]”, *Senado de la República de Colombia*. [En línea]. Disponible en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0253_1996.html. [Consultado: 27-oct-2023].

[18]“Ley 430 de 1998” - Congreso de la república, Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-0430-1998.pdf>. [Consultado: 27-oct-2023].

[19]“DECRETO 2104 DE 1983”, Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.suin-juricol.gov.co/viewDocument.asp?id=1802220>. [Consultado: 27-oct-2023].

[20]“Decreto 462 de 1989”, Gov.co. [En línea]. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/NormativaConceptosJuridicos/concepto_20171200262661.pdf. [Consultado: 27-oct-2023]

[21]“Decreto 605 de 1996”, Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1358#:~:text=El%20presente%20Decreto%20establece%20normas,servicio%20y%20de%20los%20usuarios>. [Consultado: 27-oct-2023].

[22]“Decreto 1140 de 2003”, Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1358#:~:text=El%20presente%20Decreto%20establece%20normas,servicio%20y%20de%20los%20usuarios>. [Consultado: 27-oct-2023].

[23] "Decreto 1505 de 2003", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=8434>. [Consultado: 27-oct-2023].

[24] "Resolución 2309 de 1986", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-2309-de-1986.aspx>. [Consultado: 27-oct-2023].

[25] "Resolución 0541 - 1994", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0541-1994>. [Consultado: 27-oct-2023].

[26] "Resolucion 189 de 1994", Gov.co. [En línea]. Disponible en: https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion189_19940715.htm. [Consultado: 27-oct-2023].

[27] "Resolución 1045 - 2003", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-1045-2003>. [Consultado: 27-oct-2023].

[28] "Resolución 1390 - 2005", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-1390-2005>. [Consultado: 27-oct-2023].

[29] "CONPES 2750 de 1994", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/2750.pdf>. [Consultado: 27-oct-2023].

[30] "Proyecto de ley N° 298-2020", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/yXBcpJ>

[31] "Decreto 1713 de 2002", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5542>. [Consultado: 27-oct-2023].

[32] "Resolución 1407 de 2018", *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 26-jul-2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1407-de-2018/>. [Consultado: 27-oct-2023].

[33] "Resolución 2184 de 2019", *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 26-dic-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-2184-de-2019/>. [Consultado: 27-oct-2023].

[34] "Ley 1259 de 2008", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34388>. [Consultado: 27-oct-2023].

[35] "Ley 1333 de 2009", Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36879#:~:text=Objeto%20de%20las%20medidas%20preventivas,paisaje%20o%20la%20salud%20humana>. [Consultado: 27-oct-2023].

- [36]“Resolución 2086 de 2010”, *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 26-oct-2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-2086-de-2010/>. [Consultado: 27-oct-2023].
- [37]“Decreto 3678 de 2010”, *Gov.co*. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/Decreto-3678-de-2010.pdf>. [Consultado: 27-oct-2023].
- [38]B. Inforeciclaje, “Residuos sólidos”, *inforeciclaje*, 18-dic-2022. [En línea]. Disponible en: <https://inforeciclaje.com/residuos-solidos/>. [Consultado: 07-oct-2023]
- [39]“Gestión de residuos sólidos urbanos”, *Argentina.gob.ar*, 19-jul-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/rsu>. [Consultado: 08-oct-2023].
- [40]“Planes de gestión integral de residuos sólidos”, *Gov.co*. [En línea]. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/gestion-institucional/gestion-de-residuos-solidos/planes-de-gestion-integral-de-residuos-solidos>. [Consultado: 08-oct-2023].
- [41]M. de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Ley 19 DIC 2008”, *Gov.co*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1259-2008.pdf>. [Consultado: 08-oct-2023].
- [42]F. Pública, “Decreto 1077 de 2015 Sector Vivienda, Ciudad y Territorio”, *Gov.co*. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>. [Consultado: 08-oct-2023].
- [43]“Vista de Evaluación de experiencias locales urbanas desde el concepto de sostenibilidad: el caso de los desechos sólidos del municipio de Los Patios (Norte de Santander, Colombia)”, *Edu.co*. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/tsocial/article/view/14084/14844>. [Consultado: 12-oct-2023]
- [44]J. C. Casulo, “Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la academia”, *SciELO*, vol. 12, 2018.
- [45]J. E. Rivera-Hernández, N. V. Blanco-Orozco, G. Alcántara-Salinas, E. P. Houbron, y J. A. Pérez-Sato, “¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto”, *Posgrado Soc. Rev. Electrón. Sist. Estud. Posgrado*, vol. 15, núm. 1, pp. 57–67, 2017
- [46]G. Tchobanoglous, H. Theisen, y S. A. Vigil, *Gestión integral de residuos sólidos*. McGraw-Hill Interamericana, 1994.
- [47]E. Rondón, M. Szantó, J. F. Pacheco, E. Contreras, A. Gálvez, “Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios”, *Cepal.org*. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>. [Consultado: 13-oct-2023]
- [48]“Manual para El diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales”, *Docplayer.es*. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/19608217-Manual->

para-el-diseno-de-rutas-de-recoleccion-de-residuos-solidos-municipales.html.

[Consultado: 09-oct-2023].

[49]I. G. Jhoana y H. Tirado, “Modelo administrativo para realizar la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el distrito metropolitano de Quito”, *Edu.ec*. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10378/3/CD-6177.pdf>. [Consultado: 09-oct-2023].

[50]E. Rondón, M. Szantó, J. F. Pacheco, E. Contreras, A. Gálvez, “Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios”, *Cepal.org*. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>. [Consultado: 13-oct-2023]

[51]“¿Que es un contenedor soterrado?”, *Formatoverde.com*. [En línea]. Disponible en: <https://www.formatoverde.com/soterrados/que-es-un-soterrado.aspx>. [Consultado: 05-oct-2023].

[52]R. A. Chamaya Carhuatanta y H. D. Guerrero Ortiz, “Automatización de un contenedor soterrado para optimizar la gestión de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo”, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2022.

[53]L. Fajardo Hoyos, A. M. Gómez Sánchez, y J. I. Sarmiento Castillo, “Variables asociadas al comportamiento de los ingresos por ventas en las principales plazas de mercado de Popayán, Colombia”, *Semest. Econ.*, vol. 21, núm. 49, pp. 115–145, 2018.

[54]R. Daniel, C. Paz, y G. Gómez, “Localización de instalaciones”, *Edu.ar*. [En línea]. Disponible en: https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1619/1/14_localizacion_instalaciones.pdf. [Consultado: 05-nov-2023].

[55]S. P. Robbins y D. A. DeCenzo, *Fundamentos de Administración: Conceptos Esenciales y Aplicaciones*. Pearson Educación, 2009.

[56]Q. Zhu, Y. Dou, y J. Sarkis, “A portfolio-based analysis for green supplier management using the analytical network process”, *Supply Chain Manage.: Int. J.*, vol. 15, núm. 4, pp. 306–319, 2010.

[57]F. S. Hillier, “Investigación de operaciones”, 2015

[58]M. C. Bueno, “Metodología para la toma de decisiones”, *Deltapublicaciones.com*. [En línea]. Disponible en: <https://deltapublicaciones.com/tienda/economia-administracion-y-turismo/metodos-de-decision-y-proyectos/metodos-de-decision/metodologia-para-la-toma-de-decisiones-2/>. [Consultado: 01-nov-2023].

[59]E. F. y C. Departamento de Organización de Empresas, “Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos”, *upv.es*. [En línea]. Disponible en: <http://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocuments/5%20Localizaciion%20instalaciones.pdf>. [Consultado: 05-nov-2023].

[60]J. A. Bellver y F. G. Martínez, *Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2012.

- [61]J. Aznar Bellver, “ANP. Ejemplo”, p. 16720, 2012.
- [62]W. J. L. Adams y R. Saaty, “Super Decisions Software Guide”, *Superdecisions.com*. [En línea]. Disponible en: https://www.superdecisions.com/sd_resources/v28_man01.pdf. [Consultado: 02-nov-2023].
- [63]A. Nieto, *La plaza de mercado como lugar de hibridación entre el turismo y la cultura*. Corporación Universitaria Unitec, 2016.
- [64] V. Delgado, “comunidades en popayán y número de personas en popayán”, 2015.
- [65]A. Blanco, “Localización óptima de contenedores de residuos sólidos urbanos en Alcalá de Henares”
- [66]Mecalux, “¿Cuáles son los criterios de ubicación de existencias más utilizados en el almacén?”, *Com.co*. [En línea]. Disponible en: <https://www.mecalux.com.co/blog/criterios-ubicacion-existencias-almacen>. [Consultado: 31-oct-2023].
- [67]Z. Mejía y C. Alfonso, “Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: sistemas de caja fija (SCF)”, *Ing. Investig.*, vol. 29, núm. 2, pp. 119–126, 2009.
- [68]C. Torres-Navarro y N. Callegari-Malta, “Criterios para cuantificar costos y beneficios en proyectos de mejora de calidad”, *Ing. Ind.*, vol. 37, núm. 2, pp. 151–163, 2016.
- [69]L. Seguí, R. Medina, M. Santiago, G. Romero, y I. Merí, “Gestión de residuos y economía circular”, *Diarioabierto.es*. [En línea]. Disponible en: https://www.diarioabierto.es/wp-content/uploads/2018/09/Gestion_residuos_EAE.pdf. [Consultado: 01-nov-2023].
- [70]M. Buying, “Los Beneficios de Invertir en Botes de Basura de Calidad: Durabilidad y Diseño”, *Contenedores De Basura México*, 25-oct-2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.contenedoresdebasura.com/los-beneficios-de-invertir-en-botes-de-basura-de-calidad-durabilidad-y-diseno/>. [Consultado: 01-nov-2023].
- [71]K. Bravo, J. Menéndez, y F. Peñaherrera, “Comercialización de las empresas”, *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, núm. mayo, 2018.
- [72]J. G. Silva-Treviño, B. A. Macías-Hernández, E. Tello-Leal, y J. G. Delgado-Rivas, “La relación entre la calidad en el servicio, satisfacción del cliente y lealtad del cliente: un estudio de caso de una empresa comercial en México”, *CienciaUAT*, vol. 15, núm. 2, pp. 85–101, 2021.
- [73]” Cuadernos de Administración”, *Redalyc.org*. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/205/20503404.pdf>. [Consultado: 06-nov-2023].
- [74] Item Type y I.-R. Thesis, “Procedimiento de selección de subcontratistas en proyectos de carreteras en el Perú mediante el análisis multicriterio”, *Edu.pe*. [En línea]. Disponible en: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652274/Casanova_VF.pdf?sequence=3. [Consultado: 15-nov-2023].

[75]“El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores : aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L”, *Edu.pe*. [En línea]. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano_hg/contenido.htm. [Consultado: 15-nov-2023].

[76] H. de la Cruz, “¿Cuáles son los requisitos legales de la norma ISO 14001?”, *Nueva-iso-14001.com*, 23-may-2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.nueva-iso-14001.com/2022/05/cuales-son-los-requisitos-legales-de-la-norma-iso-14001/>. [Consultado: 08-feb-2024]

[77] S. Licari, “Análisis PESTEL: qué es, cómo se hace y ejemplos útiles”, *Hubspot.es*, 27-nov-2023. [En línea]. Disponible en: <https://blog.hubspot.es/marketing/crear-analisis-pestel>. [Consultado: 08-feb-2024].

[78] R. Toro, “ISO 14001: Revisión Ambiental Inicial”, *Nueva-iso-14001.com*, 25-dic-2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.nueva-iso-14001.com/2014/12/iso-14001-revision-ambiental-inicial/>. [Consultado: 08-feb-2024].