

Nota de Aceptación:

Proyecto de Diseño Aprobado, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.

HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias

JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO
Director Carrera Ingeniería Industrial



FRANCISCO JOSE HERNANDEZ MORALES
Director(a) Proyecto de Diseño



MARIO FERNANDO MUNOZ
VÉLEZ
Jurado 1



ALVARO FIGUEROA CABRERA
Jurado 2



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Santiago de Cali, diciembre 9 de 2020

Apreciado

Jorge Enrique Álvarez Patiño

Director del programa de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Pontificia Universidad Javeriana Cali
Ciudad

Reciba usted un cordial saludo.

Después de haber hecho seguimiento al proyecto de diseño 2020109 bajo mi dirección, titulado **Diseño de un modelo de recolección de residuos mediante ruteo en la Universidad Javeriana Cali, sede Pance**; desarrollado por los estudiantes de Ingeniería Industrial **Valentina Sánchez Ledezma, Andres Felipe Estrada Villegas y Valentina España Agudelo** identificados con cédula de ciudadanía 1.144'104.981, 1.151'961.376, 1.144'107.906 respectivamente, considero que este cumple a cabalidad con los objetivos propuestos. De igual manera, he leído el documento final a cabalidad, el cual avalo para que sea entregado y evaluado.

Cordialmente,

Francisco José Hernández Morales

Director del Proyecto
C.C. **94.535.888** de Cali

Santiago de Cali, diciembre 09 de 2020

Estimado

Jorge Enrique Álvarez Patiño

Director del programa de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería y Ciencias

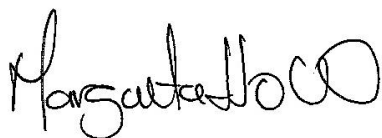
Pontificia Universidad Javeriana Cali

Ciudad

Reciba usted un cordial saludo.

Después de haber asesorado el proyecto de diseño 2020109 titulado **Diseño de un modelo de recolección de residuos mediante ruteo en la Universidad Javeriana Cali, sede Pance**; desarrollado por los estudiantes de Ingeniería Industrial **Valentina Sánchez Ledezma, Andres Felipe Estrada Villegas y Valentina España Agudelo** identificados con cédula de ciudadanía 1.144'104.981, 1.151'961.376, 1.144'107.906 respectivamente, certifico que fue realizado en la Oficina de Recursos Físicos y Ambientales de la Universidad.

Cordialmente,



Margarita M. Jaramillo W.

Profesional en Gestión Ambiental

C.C. **41'959.205**

Diseño de un modelo de recolección de residuos mediante ruteo en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance.

Valentina España Agudelo ^{a,c}, Valentina Sánchez Ledesma ^{a,c}, Andrés Felipe Estrada Villegas ^{a,c}.

Francisco Jose Hernández Morales^{b,c}, Margarita María Jaramillo ^d

^aEstudiantes de Ingeniería Industrial

^bFrancisco Jose Hernández Morales, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

^d Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

RESUMEN

La correcta gestión de los residuos sólidos (RS) es un proceso complejo que debe llevarse a cabo en todas las copropiedades diariamente en Colombia. la Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance, engloba este proceso en el PGIR emitido en el año 2017, apartado en prácticas de generación, separación, recolección y disposición final de los residuos sólidos. El proceso de recolección se fundamenta en recoger los RS que son depositados en los puntos ecológicos, generados y clasificados por parte de la comunidad Javeriana, para posteriormente, almacenarlos en la UCA; se ejecuta mediante rutas, horarios y zonas estipulados en el PGIR. Sin embargo, se tiene que las rutas de recolección propuestas junto con la ubicación de los puntos ecológicos están desactualizadas, generando problemas en el desarrollo de estas actividades.

A partir de los pronósticos realizados, se encontró un comportamiento creciente de los residuos y el número de estudiantes matriculados que no se tiene en cuenta en el diseño de la gestión de los RS, por ello, se evidenciaron problemas como el déficit en el proceso de ruteo representado mediante la acumulación de residuos en los puntos ecológicos y carros de recolección que llegan a su capacidad máxima antes de finalizar la ruta, generando retrocesos y agotamiento en los operadores. Por medio de este proyecto, se diseñará un modelo de ruteo con el fin que mejorar la eficiencia del plan de recolección de residuos actual. Inicialmente se analizará la situación actual del sistema, en donde se estudiarán las variables que afecten el sistema como la generación de residuos. Posteriormente se hizo una investigación sobre los distintos métodos que puedan usarse para el desarrollo del modelo y escoger el que más se ajuste al comportamiento identificado. Finalmente, se analizará los resultados obtenidos gracias a la implementación del proyecto por medio de los indicadores definidos.

Abstrac

The correct management of solid waste (SR) is a complex process that must be carried out in all the co-ownerships daily in Colombia. The Pontificia Javeriana University in Cali, Pance, includes this process in the PGIR, issued in the year 2017, it focuses on the generation, separation, collection, and final disposal of solid waste. The collection process is based on collecting the SRs that are deposited at the ecological points, generated, and classified by the Javeriana Community, and then stored in the UCA; it is executed through routes, schedules and zones stipulated in the PGIR. However, the proposed collection routes and the location of the ecological points are outdated, generating problems in the development of these activities.

From the forecasts made, both the Javeriana community and the solid waste generated have an increasing behavior that has not been considered in the design of the management of the SR, therefore, problems such as the deficit in the routing process, represented by the accumulation of waste in the ecological points, likewise the garbage trucks that reach their maximum capacity before the end of their route, generating setbacks and burnouts in the operators. Through this project, a routing model will be designed to improve the efficiency of the current waste collection plan. Initially, the current situation of the system will be analyzed, the variables that affect the system, such as the generation of waste, will be studied. Subsequently,

research will be done on the different methods that can be used to develop the model and choose the one that best fits the identified behavior.

Finally, the results obtained after implementing this project will be analyzed by means of the defined indicators.

Tabla de contenido

I. PROJECT CHARTER	4
II. DEFINIR	6
A. Contexto y Justificación.....	6
B. Grupos de interés.....	5
C. Requerimientos.....	8
III. MEDIR	10
A. Plan de recolección de datos.....	10
B. Medición del sistema actual.....	11
IV. ANALIZAR	18
A. Análisis de Causas.....	18
B. Revisión de literatura.....	19
C. Exploración de ideas y selección de alternativa.....	10
D. Objetivos.....	11
E. Plan de trabajo (PdT).....	11
V. MEJORAR	12
A. Desarrollo del diseño de la solución.....	12
B. Validación del diseño propuesto.....	16
VI. CONTROLAR	18
C. Medición de los impactos.....	18
D. Estandarización de la solución – POE’S (plan de control).....	19
E. Conclusiones.....	22
F. Recomendaciones.....	23
VII. GLOSARIO	23
VIII. REFERENCIAS	24
IX. ANEXOS	25

Índice de figuras

<i>Fig. 1 Plan de manejo de residuos, Pontificia Universidad Javeriana, Cali</i>	1
<i>Fig. 2. Clasificación de residuos según resolución 2184.</i>	1
<i>Fig. 3. Población de estudiantes, profesores y personal administrativo desde 2015 – 2020. Modificado de [2]</i>	1
<i>Fig. 4. Residuos sólidos generados anualmente en la PUJ Cali desde el 2015 al 2019. Modificado de [Anexo 5].</i>	2
<i>Fig. 5 Total residuos. sólidos generados. Modificado de [Anexo 5].</i>	2
<i>Fig. 6. Contenedor rebosado.</i>	3
<i>Fig. 7. Carro de recolección lleno.</i>	3
<i>Fig. 8. Bolsas con residuos en zonas no adecuadas.</i>	4

Fig. 9. Bolsas con residuos en zonas no adecuadas.....	4
Fig 10 Matriz poder interés.....	6
Fig. 11 Ubicación puntos ecológicos. Modificado de [13].....	14
Fig 12. Diagrama de flujo del proceso de recolección de residuos.....	17
Fig. 13 Diagrama causa efecto.....	18
Fig 14 División de zonas. Modificado de [13].....	20
Fig 15 Rutas de recolección de la zona 1. Modificado de [13].....	20
Fig 16 Rutas de recolección de zona 2 y zona 3. Modificado de [13].....	21
Fig 17 Rutas de recolección por puntos ecológicos de la zona 2 y 3. Modificado de [13].....	21
Fig 18 Rutas de recolección por puntos ecológicos de la zona 1. Modificado de [13].....	22

Índice de tablas

Tabla I Interés y poder de grupos interesados.....	6
Tabla II Requerimientos.....	8
Tabla III. Definición de variables.....	10
Tabla IV Medición de variables.....	12
Tabla V. Descripción de los puntos ecológicos.....	14
Tabla VI. Ubicación puntos ecológicos.....	15
Tabla VII. Residuos generados anuales. Modificado de [Anexo 5].	16
Tabla VIII . Plan de trabajo.....	11
Tabla IX. Nodos y puntos ecológicos de zona 1.....	12
Tabla X Nodos y puntos ecológicos de zona 2.....	12
Tabla XI Nodos y puntos ecológicos de zona 2.....	13
Tabla XII. Definición de variables.....	13
Tabla XIII. Definición de parámetros.....	13
Tabla XIV. Definición de conjuntos.....	14
Tabla XV. Definición de Restricciones.....	14
Tabla XVI. Validación de variables.....	16
Tabla XVII. Programación de ruteo.....	18
Tabla XVIII. Distancia recorrida por ruta.....	18
Tabla XIX Costo de puntos ecológicos y carro.....	19

I. PROJECT CHARTER

Descripción (<i>Business case</i>)		Planteamiento del problema (<i>Problem statement</i>)		
<p>Desde la emisión del PGIR la Universidad tuvo un crecimiento de infraestructura afectando la ubicación de los puntos ecológicos, así mismo como la inclusión de los nuevos puntos ecológicos a las rutas establecidas. Estos dos factores influyen en la recolección de residuos generando retrocesos, que a su vez causan un desgaste en los operarios. Además, se encontró que en ocasiones los puntos ecológicos se encuentran rebosados perjudicando así la salubridad y estética del campus. Por último, es importante la implementación en el campus de la resolución 2184 del 2019.</p>		<p>Desde el 2017 se constató un aumento en la comunidad javeriana del 1.2 % de infraestructura de 8,7 %, residuos reciclables del 26.9% y de concesionarios del 30.3%, generando un problema ante la ubicación de nuevos puntos ecológicos y su inclusión en una ruta estandarizada.</p>		
Impacto de los actores (<i>Stakeholder's business needs</i>)		Restricciones	Especificaciones	Marco legal
<p>En la identificación de los grupos de interés se encontraron varios actores, principalmente están los directivos, el personal administrativo, el equipo de trabajo, recursos físicos, los empleados, y el DAGMA, los que tienen un poder e interés muy alto. Por otro lado, se tienen a los estudiantes y a los docentes, los cuales representan un interés y poder bajo. También se tienen a los concesionarios y Promoambiental con un interés alto, pero con un poder muy bajo. Y, por último, están los visitantes, quienes representan un poder muy bajo y un interés bajo.</p>		<p>Se debe plantear un modelo que tenga en cuenta la infraestructura del campus, un horario adecuado para los concesionarios y que a su vez tenga en cuenta las horas pico debido al flujo de personas, debe de estar diseñado para el número de empleados que hay en la universidad, así como la frecuencia de las rutas, también tener en cuenta el costo y por último no debe afectar el medio ambiente.</p>	<p>Principalmente, los puntos ecológicos deben de estar diseñados según la resolución 2184 y tener una ubicación estratégica que cumpla con el requerimiento del cliente y que a su vez permita la recolección de residuos. Es importante implementar el plan de gestión y cumplir con las normas del DAGMA.</p>	<p>-Resolución 0754 de 2014. -Decreto 1077 de 2015. -Decreto 1076 de 2015. -Decreto Único 780 de 2016. -Resolución 316 de 2018. -Decreto 2981 de 2013. -Resolución 0754 de 2014.</p>
Indicadores de Desempeño (<i>KPI's</i>)				
Variable	Actualidad	Meta		
Ubicación de los puntos ecológicos en el campus.	La zona 1 presenta 33 puntos con 101 botes de residuos y la zona 2 con 49 puntos ecológicos y 131 botes, como se puede observar en la Fig. 11.	Ubicación de los puntos ecológicos de tal manera que cumplan con las necesidades de la comunidad javeriana, que implica que estén disponibles y en una ubicación idónea donde no implique desplazamientos muy largos.		
Variación de puntos ecológicos frente a cambio de infraestructura en la Universidad Javeriana Cali.	Puntos ecológicos en el 2020=100 Puntos ecológicos en el 2018= 97	Se involucrará el 100% de los puntos ecológicos faltantes en las rutas.		

	El 3% de los puntos no se encuentran incluidos en las rutas del PGIR																																					
Cantidad de residuos sólidos generados anuales.	<p>Cantidad total de residuos sólidos generados en kilogramos:</p> <p>2015=169.102 2016= 191.920 2017= 139.983 2018= 138.203 2019= 159.816</p> <p>En la Fig. 12 y Tabla VII se puede observar la tendencia y la cantidad generada por cada tipo de residuos anual.</p>	Cubrir las necesidades de recolección de residuos de los próximos 5 años, donde se presenta un promedio de 159.622 kg/año, con una variación 2.77% anual.																																				
Tiempo total de recolección por ruta	<p>Tiempos de recolección por ruta según su zona</p> <table border="0"> <tr> <td>Zona 1:</td> <td>Zona 2:</td> </tr> <tr> <td>R1: 73</td> <td>R1:112</td> </tr> <tr> <td>R2: 76</td> <td>R2:115</td> </tr> <tr> <td>R3: 59</td> <td>R3:114</td> </tr> <tr> <td>R4: 65</td> <td>R4:112</td> </tr> <tr> <td>R5: 60</td> <td>R5:110</td> </tr> <tr> <td>R6: 67</td> <td>R6:123</td> </tr> <tr> <td>R7: 58</td> <td>R3:108</td> </tr> <tr> <td>R8: 55</td> <td>R4:109</td> </tr> </table>	Zona 1:	Zona 2:	R1: 73	R1:112	R2: 76	R2:115	R3: 59	R3:114	R4: 65	R4:112	R5: 60	R5:110	R6: 67	R6:123	R7: 58	R3:108	R8: 55	R4:109	<p>Tiempo máximo de recolección por ruta según la zona</p> <table border="0"> <tr> <td>Zona 1:</td> <td>Zona 2:</td> </tr> <tr> <td>R1: 103</td> <td>R1:135</td> </tr> <tr> <td>R2:96</td> <td>R2:116</td> </tr> <tr> <td>R3: 69</td> <td>R3:81</td> </tr> <tr> <td>R4: 75</td> <td>R4:78</td> </tr> <tr> <td>R5: 84</td> <td>R5:135</td> </tr> <tr> <td>R6: 96</td> <td>R6:124</td> </tr> <tr> <td>R7: 63</td> <td>R3:81</td> </tr> <tr> <td>R8: 57</td> <td>R3:78</td> </tr> </table>	Zona 1:	Zona 2:	R1: 103	R1:135	R2:96	R2:116	R3: 69	R3:81	R4: 75	R4:78	R5: 84	R5:135	R6: 96	R6:124	R7: 63	R3:81	R8: 57	R3:78
Zona 1:	Zona 2:																																					
R1: 73	R1:112																																					
R2: 76	R2:115																																					
R3: 59	R3:114																																					
R4: 65	R4:112																																					
R5: 60	R5:110																																					
R6: 67	R6:123																																					
R7: 58	R3:108																																					
R8: 55	R4:109																																					
Zona 1:	Zona 2:																																					
R1: 103	R1:135																																					
R2:96	R2:116																																					
R3: 69	R3:81																																					
R4: 75	R4:78																																					
R5: 84	R5:135																																					
R6: 96	R6:124																																					
R7: 63	R3:81																																					
R8: 57	R3:78																																					
Capacidad total de residuos depositados en los contenedores de basura en el campus.	<p>La universidad cuenta con 3 tipos de contenedores de residuos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 contenedor de 121 litros con un volumen de 0,38 m³. • 9 contenedores de 35 litros con un volumen de 1,7x10⁻⁷ m³. • 240 contenedores de 55 litros con un volumen de 2,5x10⁻⁷ m³. <p>Volumen total de 1,9 m³.</p>	Actualizar los contenedores de residuos según la resolución 2184 y ajustar la capacidad de depositar residuos según los pronósticos a 5 años de la generación con un valor de 4,38 m ³ /día de RS.																																				
Frecuencia de recolección puntos ecológicos	En la actualidad se percibe que la frecuencia de los diferentes puntos ecológicos del campus esta entre 1 y 6 veces por día.	Cumplir con los requerimientos de recolección necesaria respecto a cada punto ecológico con el fin de mantener el punto aseado y disponible para la comunidad javeriana y sus visitantes.																																				
Cumplimiento del proceso de recolección	Los operarios encargados de la recolección realizan el debido proceso de limpieza y separación de los puntos asignados, según lo estipulado por el PGIR.	Capacitar a los operarios, para la realización de los procesos, según la nueva resolución 2184.																																				
Distancia recorrida por ruta	<table border="0"> <tr> <td>Zona 1:</td> <td>Zona 2:</td> </tr> <tr> <td>R1: 1.9</td> <td>R1:2.1</td> </tr> <tr> <td>R2:1.5</td> <td>R2:2.2</td> </tr> </table>	Zona 1:	Zona 2:	R1: 1.9	R1:2.1	R2:1.5	R2:2.2	Diseñar distancias de acuerdo con la capacidad del carro recolector																														
Zona 1:	Zona 2:																																					
R1: 1.9	R1:2.1																																					
R2:1.5	R2:2.2																																					

	R3: 1.2 R4: 1.3 R5: 1.4 R6: 1.5 R7: 1.3 R8: 1.3	R3:2.2 R4:2.1 R5:2.1 R6:2.3 R3:1.9 R3:2.1	en el cual se satisfaga la demanda de recolección.		
Objetivo general (Goal statement)					
Rediseñar el plan de ruteo para la recolección de RS en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance con el fin de una disminución en la distancia total recorrida evitando retrocesos a través de modelos matemáticos.					
Objetivos específicos (Project scope)					
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar el proceso actual de recolección de los residuos sólidos de la Universidad. • Diseñar un modelo que se ajuste a los requerimientos de la Universidad y ofrezcan la mejor solución al problema. • Evaluar la viabilidad técnica y financiera de la solución a implementar. • Comparar la eficiencia con respecto al sistema actual. 					
Plan de Trabajo (Project Plan)					
Equipo de trabajo (Team members)					
Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Área IISE	Nombre	Rol
Analizar las rutas de recolección.	2/03/2020	4/05/2020	Work design and measurement	Equipo	information seeker
Medir el proceso actual a través de simulaciones.	23/03/2020	4/05/2020	Operations research and analysis	Equipo	Information giver
Investigación de diferentes alternativas.	11/05/2020	7/06/2020	Operations research and analysis	Equipo	Information giver
Diseño del modelo.	25/08/2020	31/10/2020	Operations research and analysis	Equipo	Initiador
Evaluar la factibilidad del modelo.	25/11/2020	07/12/2020	Operations engineering and management	Equipo	Initiador
Validar el modelo a través de herramientas computacionales.	9/10/2020	20/10/2020	Operations research and analysis	Equipo	Information giver
Evaluar el sistema propuesto, respecto al sistema actual	21/11/2020	15/12/2020	Quality and reliability engineering	Equipo	Orientor

II. DEFINIR

A. Contexto y Justificación.

El crecimiento demográfico ha generado una cultura productora y consumidora, potente generadora de residuos sólidos (RS), esto no solo constituye una gran problemática de salud pública, sino que también afecta el medio ambiente y la sostenibilidad. Por ello, la sociedad se ve en la necesidad de organizar, planificar y legitimar la gestión de RS. La integración de políticas que reglamentan un manejo integral de los residuos

sólidos favorece a la regulación en la generación, separación, recolección, almacenamiento y disposición final de éstos, controlando, además, el impacto ambiental generado por el consumo desmesurado de bienes.

Como respuesta a estas necesidades, en Colombia se implementó el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), política pública establecida por el Gobierno Nacional con el fin de fomentar las prácticas de reducción, recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos en las copropiedades residenciales y comerciales según la ley 1259 de 2008, decreto 2981 de 2013 y decreto 1147 de 2015 [1].

Dado que la Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance, debe ceñirse a dicha política, esta implementó un Plan Integral de Gestión de Residuos (PGIR) emitido en el 2017 y actualizado en el 2018, con el fin de ofrecer una mejor administración de los desechos generados dentro del campus y seguir la Política Ecológica y Ambiental, que tiene como estrategia principal, propiciar hábitos y comportamientos sostenibles orientados a la preservación del medio ambiente, el cual va de la mano también con la Mega de Sostenibilidad que tiene como objetivo el uso sostenible de los recursos naturales y físicos, priorizando el desarrollo de actividades que minimicen el uso de los recursos para garantizar su existencia para las generaciones futuras y, que la comunidad educativa, goce de un campus armónico.

Al generar y llevar a cabo el plan de gestión de residuos sólidos, la universidad ha tomado medidas y ha implementado diversas actividades, como puede verse en la

, en cada una de ellas se describe la aplicación real que lleva a cabo actualmente; cómo se puede observar, la primera fase es la generación de residuos sólidos, donde se especifica las medidas que ha tomado la universidad y sus principales generadores; la segunda fase es la separación en la fuente, en la cual se clasifican los diferentes tipos de residuos llevado a cabo por cada generador según la NTC-GTC 24, sin embargo, debido a la resolución 2184 del 2019 establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible junto con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, presenta un nuevo código de colores mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que debe entrar en vigencia el primero de enero del 2021; la tercera fase es la recolección, se explican los dos tipos de rutas que la universidad presenta, las micro rutas, son las que se hacen dentro de los edificios, debido a que el carro de recolección no tiene acceso y las macro rutas que están divididas en dos zonas del campus, la primera zona abarca central, Edificio Palmas, Edificio Guayacanes y Edificio Lagos, y la segunda zona abarca Biblioteca, Capilla, Edificio Acacias, Edificio Educación continua, Edificio Almendros, Edificio Samán y centro de bienestar, las rutas se encuentran estandarizadas e ilustradas a través de mapas del campus de acuerdo a los horarios y zonas; la cuarta fase es la de almacenamiento de los residuos sólidos en la universidad, se realiza en la unidad de almacenamiento central (UCA), instalación ubicada en el parqueadero *Cataya*, camino al Centro Deportivo Loyola (CDL), donde se clasifican y acopian temporalmente los residuos aprovechables y no aprovechables que se genera; y por último la quinta fase que es la disposición final, etapa en la cual los residuos se ponen a disposición de terceros incorporándose nuevamente al ciclo económico por medio de la reutilización, el reciclaje, el compostaje y la venta de estos a otras empresas.

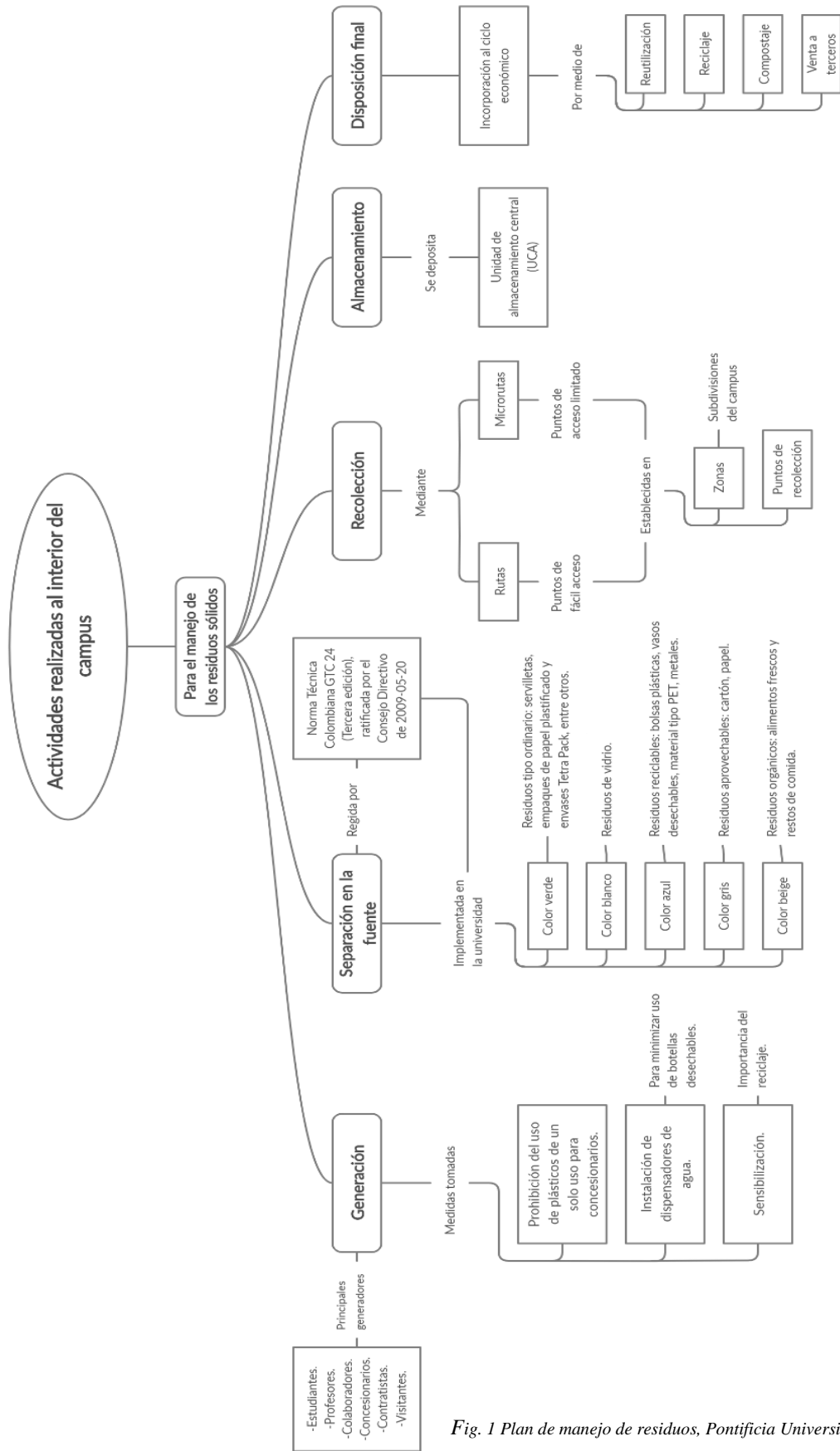


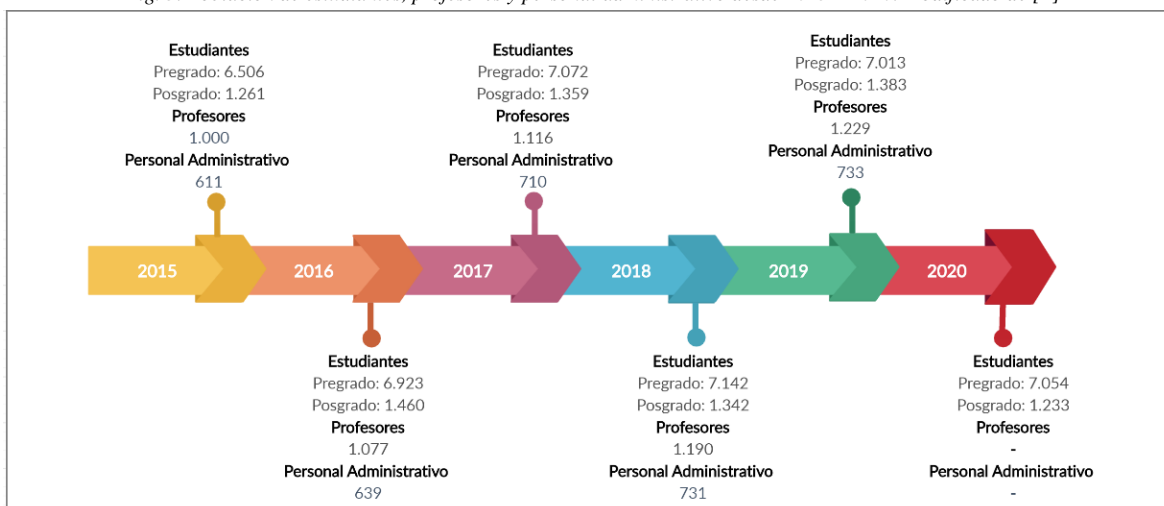
Fig. 1 Plan de manejo de residuos, Pontificia Universidad Javeriana, Cali



Fig. 2. Clasificación de residuos según resolución 2184.

Según la información suministrada por la universidad, la población de estudiantes, profesores y personal administrativo ha aumentado desde el 2015. Para los estudiantes, se presenta un crecimiento de más del 6%, sin embargo, en el paso del año 2018 al 2019 hubo una leve disminución. Se analiza que desde 2015 se analiza un aumento de profesores de más del 18% y de personal administrativo del 16%, y por último se presenta un número fijo de 65 empleados de RAPIASEO, Fig. 3Fig. 3.

Fig. 3. Población de estudiantes, profesores y personal administrativo desde 2015 – 2020. Modificado de [2]



El aumento de la comunidad Javeriana hace necesario un crecimiento en la infraestructura, por ello desde el 2015 al 2020 se construyeron y abrieron nuevos concesionarios, laboratorios y edificios, como Juan Tapas y Bristo de canchas, ubicado atrás de la cancha de fútbol 11 en el 2017, La arepería y La Frutería en el 2018, Sándwich Qbano y laboratorios de nutrición en el 2019, mostrando un crecimiento del 38.8% frente a concesionarios, y la apertura del Edificio Cedro Rosado en el 2020; por lo tanto, puede verse reflejado un crecimiento de infraestructura (m² por estudiante) del 8.7%, pasando desde el 2017 con 27.3 al 2019 con 29.9.

Hay que mencionar, además, que el notable crecimiento de la comunidad Javeriana trae consigo un aumento en la cantidad de residuos sólidos generados. Los registros del área de Recursos Físicos concluyen que la cantidad de residuos sólidos generados en kilogramos mensualmente, dependiendo de su clasificación. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los datos en kg/año, estos poseen una

tendencia creciente en cuanto a los residuos generados por concesionarios y los residuos reciclables, por el contrario, una tendencia decreciente en los residuos ordinarios, esto puede deberse a la concientización ambiental que se ha venido generando actualmente, respaldada también por la gestión de la universidad. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** puede verse que la mayor cantidad de residuos sólidos son producidos por los concesionarios con un 46%, seguido por los residuos ordinarios con 38% y, por último, los residuos reciclables con 16%.

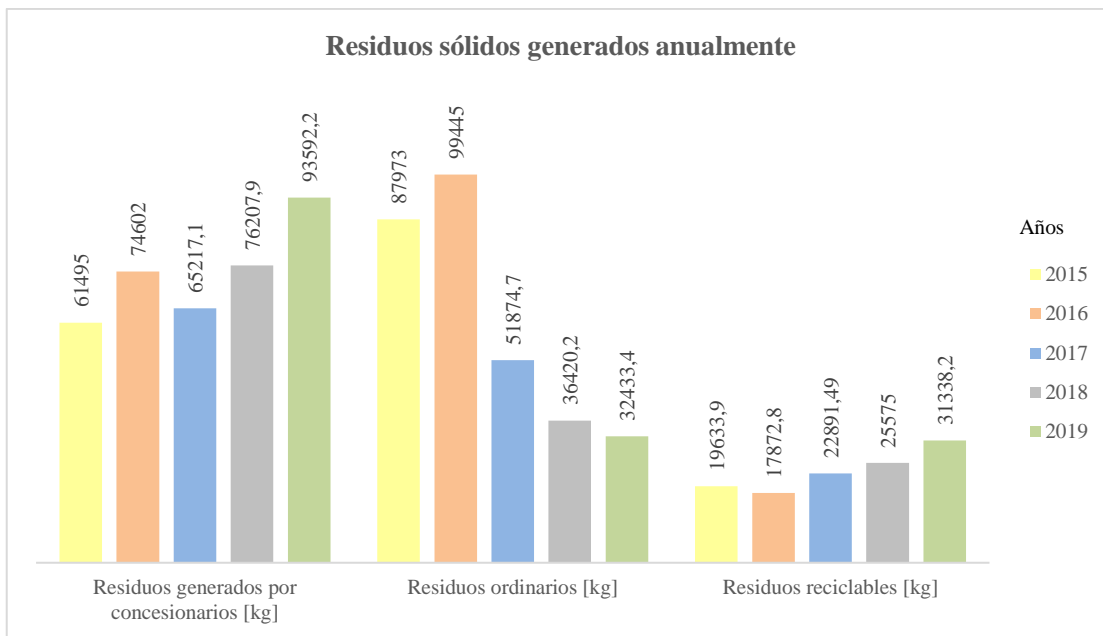


Fig. 4. Residuos sólidos generados anualmente en la PUJ Cali desde el 2015 al 2019. Modificado de [Anexo 5].

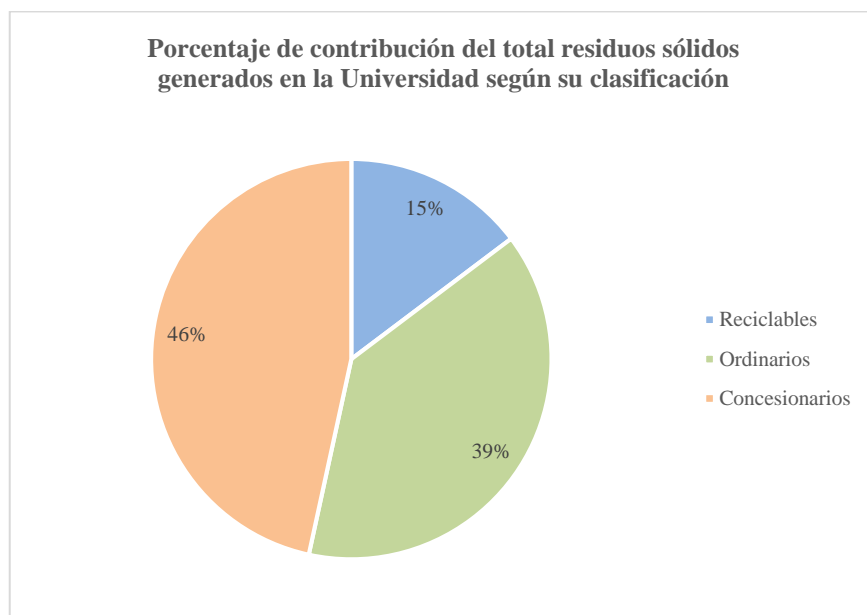


Fig. 5 Total residuos. sólidos generados. Modificado de [Anexo 5].

De acuerdo con la creciente generación de residuos que se puede analizar en las figuras y al crecimiento demográfico ya mencionado, se realizaron dos entrevistas de cuatro operarios encargados de la recolección de residuos con el propósito de conocer a fondo el proceso efectuado y analizar posibles fallas. Se verificó que las

nuevas actualizaciones en la infraestructura del campus no han sido incluidas en las rutas de recolección, esto igualmente se demuestra en los horarios de las rutas según las zonas, mostrada en el anexo 16, generando que realicen el recorrido en las nuevas instalaciones de acuerdo con su criterio. De igual manera, los trabajadores enfatizaron en otro problema que subyace en los recorridos de las rutas que deben realizar, puesto que, como se informa en la Fig. 7 Fig. 7, los carros de recolección llegan a su límite rápidamente, esto indica que deban retornar a la UCA para disponer los residuos y continuar con la ruta, estas maniobras causan desfases en los tiempos establecidos en las rutas, fomentando así un atraso en las tareas y actividades. Dentro del campus, se analiza que algunos puntos ecológicos se encuentran completamente rebosados de residuos, como se demuestra en la Fig. 6, además, reflejan bolsas con residuos en zonas no dispuestas para ello como se muestra en la Fig. 8 y Fig. 9, esto puede implicar que el diseño de las rutas y su frecuencia no es el mejor.



Fig. 6. Contenedor rebosado.



Fig. 7. Carro de recolección lleno.



Fig. 8. Bolsas con residuos en zonas no adecuadas.



Fig. 9. Bolsas con residuos en zonas no adecuadas.

De acuerdo con lo expuesto, la Pontificia Universidad Javeriana Cali presenta un problema ante la ubicación de nuevos puntos ecológicos y su inclusión a una ruta estandarizada, a causa de dos factores importantes, primero, el aumento de infraestructura ya mencionado anteriormente y, segundo, el de residuos sólidos que desde el 2015 al 2019 presenta un crecimiento del 37.49% en residuos reciclables y del 33.77% en los residuos producidos por los concesionarios, generando que los contenedores de basura se rebosen, además, el diseño de las rutas actuales ocasionan cierta cantidad de retrocesos a causa de la capacidad limitada del carro recolector.

Como se ha podido identificar a lo largo del desarrollo del contexto, el proceso de recolección de residuos es una actividad crítica y cada vez más compleja debido a la creciente generación de residuos, la cual es una evidente consecuencia del crecimiento de la comunidad Javeriana y, además, las diversas clases de residuos en diferentes cantidades, las cuales se encuentran en distintas áreas de la universidad, es por ello que este trabajo ofrecerá un rediseño al plan de ruteo para la recolección de residuos sólidos, estandarizando las rutas, teniendo en cuenta la posible reorganización de puntos ecológicos y así mismo se buscará implementar el nuevo código de colores con la respectiva funcionalidad en el lugar debido.

Con la realización del presente proyecto, se busca que la Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance, desarrolle una planificación adecuada y completa que incluya rutas, tiempos y ubicación de nuevos puntos

ecológicos, este proyecto debe ejecutarse debido que, se tendrá en cuenta la implementación del nuevo código de colores de la resolución 2184 del 2019 para la clasificación de residuos, que se ejecutará en la universidad a partir de enero del 2021 y además la inclusión de los edificios construidos hasta el momento, debido a que este cambio del código de color generará una variación en todos los procesos de separación, recolección y almacenamiento, se considera de suma importancia la realización del proyecto porque tendrá como fin la actualización de las rutas y puntos de recolección preestablecidos por el PGIR, para así, obtener las rutas y puntos óptimos de recolección. Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, al no tomar medidas en las rutas de recolección, ocasiona un mayor desgaste de los operarios por los continuos retrocesos generando un retraso en sus demás labores, considerando la topografía irregular de la universidad; también causa un impacto negativo hacia el campus ya que, primero, la comunidad deja de tener una cómoda y limpia accesibilidad a los botes de residuos debido a que estos pueden estar rebozados impactando negativamente la imagen de la universidad y la salubridad.

B. Grupos de interés

Es necesario identificar los grupos de interés que se ven involucrados al realizar y aplicar el proyecto, debido a que estos grupos pueden tener repercusiones como respuesta a este, tanto positivas como negativas, por ello se requiere analizar las necesidades, expectativas y el impacto que estos presentan con el propósito de crear relaciones donde se logre la participación y compromiso de ejecución, que impulsa el cumplimiento de un objetivo en común; los grupos de interés que se encuentran implicados en el proyecto son:

Comunidad Javeriana, se compone por docentes de planta y hora cátedra, estudiantes de pregrado y postgrado, directivos, concesionarios de alimentos, personal administrativo y recursos físicos, el cual se encarga de dirigir la planeación, ejecución y control de las actividades como la seguridad y sostenibilidad ambiental entre otras; cada uno de ellos cumple un papel importante e indispensable en el desarrollo de todas las actividades que se generan o realizan en el campus universitario.

Los empleados que contrata la Pontificia Universidad Javeriana Cali sede Pance a través de la empresa prestadora de servicio de limpieza RAPIASEO.

El equipo de trabajo conformado por Valentina España Agudelo, Andrés Felipe Estrada Villegas y Valentina Sánchez Ledesma.

Visitantes, personas que no hacen parte de la comunidad javeriana, pero hacen uso de los servicios de la universidad.

El Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), es un organismo que ejerce como máxima autoridad en el Municipio de Cali de acuerdo con los criterios y directrices establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Define las políticas, planes y programas en materia ambiental y los ejecuta en el municipio, promueve la participación social e institucional en actividades y programas de protección ambiental, desarrollo sostenible y manejo adecuado de los recursos naturales. [8]

Promoambiental es una empresa colombiana con talento humano caleño, inició operación el día 06 de febrero de 2009 en la zona sur (Promoambiental Valle S.A. E.S.P.) y en la zona norte (Promoambiental Cali S.A. E.S.P.) el día 05 de abril de 2010 en la ciudad Santiago de Cali, en ambos casos respondiendo a las convocatorias públicas realizadas por EMSIRVA (Empresa de servicio público de aseo de Cali). Esta empresa presta el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos, transporte, barrido de vías y áreas públicas, recolección de residuos hospitalarios y de riesgo biológico y procesamiento de estos. [8]

Procesos Ecológicos S.A.S., es una organización fundada en el 2007, especializada en el desarrollo, comercialización y utilización de excedentes industriales y fuentes generadoras de residuos inorgánicos. También, apoya a organizaciones para garantizar que los materiales excedentes de los procesos sean reutilizados por otras industrias u organizaciones en diferentes procesos, mitigando, previniendo y a la vez compensando los impactos ambientales por generación de residuos. [9]

Relleno Sanitario Colombia El Guabal está ubicado en el municipio de Yotoco. Este ofrece un espacio e infraestructura para depositar los residuos sólidos luego de ser tratados para evitar la contaminación del subsuelo, además del tratamiento de los lixiviados de estos residuos. [10]

Ahora bien, teniendo identificados los diferentes grupos de interés se pudo llevar a cabo la priorización según su impacto e importancia en la elaboración del proyecto, mostrados en la Fig 10 , para representarlo gráficamente se utilizó la herramienta de la matriz de interés – poder, donde se clasifica a cada individuo u organización acerca del interés que poseen para que se ejecute el proyecto, es decir, que se implemente en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance la aplicación de la nueva resolución de Minvivienda y Minambiente No. 2184 del nuevo código de colores para realizar la separación de residuos sólidos, la ubicación estratégica de los nuevos puntos ecológicos o de botes de basura con el color correspondiente que se requiera en ese punto y la elaboración de rutas de recolección de residuos óptimas, y el poder que tiene cada entidad en que se lleve a cabo estos objetivos. Se realizó a través de encuestas, entrevistas (Anexo 1) e investigación de los diferentes interesados.

A continuación, se muestra en la Fig 10 la matriz interés-poder con base a los resultados de las encuestas.

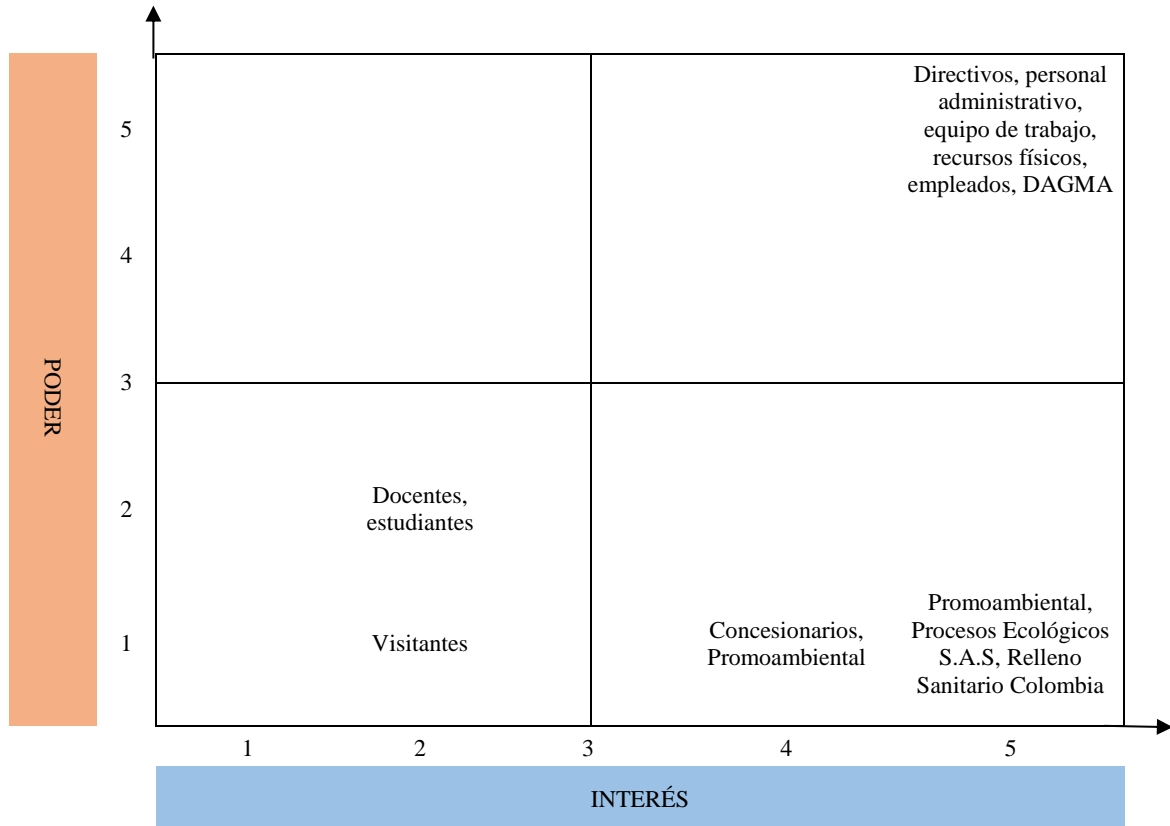


Fig 10 Matriz poder interés

Tabla 1
Interés y poder de grupos interesados.

Grupos de interés	Interés	Poder
Estudiantes	Bajo.	Bajo.
	No afecta directamente su actividad diaria.	No poseen la autoridad de generar cambios, sin embargo, su opinión se tiene en cuenta.
Docentes	Bajo.	Bajo.

	No afecta directamente su actividad diaria.	No poseen la autoridad de generar cambios, sin embargo, su opinión se tiene en cuenta.
Visitantes	Bajo.	Muy bajo.
	No afecta directamente su actividad diaria.	No poseen la autoridad de generar cambios. (La frecuencia en el campus es baja)
Concesionarios	Alto.	Muy bajo.
	Afecta directamente su actividad diaria.	No poseen la autoridad de generar cambios. (Son agentes con actividades externas al campus)
Personal administrativo	Muy alto.	Muy alto
	Afecta directamente su actividad diaria. (Poseen los recursos para llevar a cabo el proyecto)	Poseen la autoridad en generar cambios. (Poseen los recursos para llevar a cabo el proyecto)
Equipo de trabajo	Muy alto.	Alto.
	Encargados directamente del proyecto.	Poseen la autoridad en generar cambios. Encargados directamente del proyecto.
Directivos	Muy alto.	Muy alto.
	Afecta directamente su actividad diaria. (Deben estar informados de las actividades que se realizan en el campus)	Poseen la autoridad en generar cambios.
Recursos físicos	Muy alto.	Muy alto.
	Afecta directamente su actividad diaria. (Son los encargados de la logística de sostenibilidad en el campus)	Poseen la autoridad en generar cambios. (Son los encargados de la logística de sostenibilidad en el campus)
Empleados (RapiAseo)	Muy alto.	Muy bajo.
	Afecta directamente su actividad diaria. (Son los que realizan la recolección de residuos)	No poseen la autoridad en generar cambios. (Deben ceñirse al PGIR de la universidad)
DAGMA	Muy alto.	Muy alto.

	Autoridad que define y ejecuta planes de protección y desarrollo ambiental.	Autoridad que define y ejecuta planes de protección y desarrollo ambiental.
	Muy alto.	Muy bajo.
Promoambiental, Procesos Ecológicos S.A.S, Relleno Sanitario Colombia	Encargados de la disposición final de los residuos, por tal motivo les interesa que esté en buen estado.	No poseen la autoridad en generar cambios

C. Requerimientos

En cuanto a las necesidades que el proyecto necesita satisfacer para cada grupo de interés y obtener con estos resultados concluyentes que apoyen de manera práctica la solución del problema planteado, es necesario identificar y establecer los requerimientos principales con el propósito de realizar un diseño adecuado, que cumpla con las restricciones, especificaciones, leyes, normas y estándares aplicados. Para identificar los requerimientos de los diferentes grupos de interés, se hizo recolección de la información por medio de encuestas (Anexo 1), entrevistas (Anexo 2) e investigación.

Con la finalidad de identificar y verificar la factibilidad del proyecto se tiene en cuenta las restricciones de diseño, debido a que se evalúan factores económicos, sociales, ambientales, entre otros, lo cual limita la implementación de la solución. Las especificaciones son otro aspecto clave que permite describir las características del sistema, procesos y componentes. De la misma manera, cabe resaltar que cada grupo de interés está regido por una serie de normas, leyes o estándares interpuestos que pueden afectar la solución del problema; dicho lo anterior los requerimientos se muestran en la Tabla II.

Tabla II
Requerimientos.

	GRUPO DE INTERÉS	VoC (REQUISITOS DEL CLIENTE)	RESTRICCIONES DE DISEÑO	ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO	LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES	
					Legislación y requisitos aplicables	Importancia o efecto
COMUNIDAD JAVERIANA	Estudiantes	Distancia mínima entre un punto ecológico y el generador, y la disponibilidad de estos puntos ecológicos, según la encuesta realizada en el campus de la Universidad Javeriana, sede Cali.	Debido al alto flujo de personas en ciertas horas en la Universidad ocasiona que las rutas que estén en esos intervalos de tiempo no sean eficientes.	Ubicación estratégica	N/A	N/A
	Docentes				N/A	N/A
	Visitantes				N/A	N/A
	Equipo de trabajo		Infraestructura, costos, tiempo		N/A	N/A

			Cumplir requerimientos del cliente		
Directivos	Buena logística y administración de los puntos ecológicos, según la encuesta realizada en el campus de la Universidad Javeriana, sede Cali.		Cumplir norma establecida por el DAGMA	Cumplir norma establecida por el DAGMA y con las políticas ecológicas y ambiental de la PUJ	Ejecutar una solución que satisfaga las normas del DAGMA y con los acuerdos de la Universidad ante las políticas ecológicas
Recursos físicos	Buena logística en la separación, recolección y almacenamiento de los residuos sólidos de la Universidad.		Implementación del plan de gestión	Resolución 0754 de 2014. Decreto 1077 de 2015. Decreto 1076 de 2015. Decreto Único 780 de 2016	Cumplimiento de las normas que rige el DAGMA, por medio del PGIR.
Personal Administrativo	Inversión justificada para la implementación del proyecto.		Presupuesto	N/A	N/A
Concesionarios	Mayor frecuencia en las rutas.	Horarios en horas adecuadas y su cumplimiento	Recolección de residuos	Resolución 316 de 2018.	Gestión de aceites de cocina usado.
RapiAseo	Mejorar y estandarizar las rutas de recolección de residuos, según la entrevista y encuesta realizada en el campus de la PUJ Cali, sede Pance.	Número de empleados, frecuencia de las rutas.	Contratación de nuevos empleados y capacitaciones sobre GTC 24 y nuevas rutas	Decreto 2981 de 2013	Prestación de servicio público de aseo
DAGMA	Cumplimiento de la ley, según investigaciones de informes gubernamentales.	Cualquier acción que atente contra el medio ambiente.	Implementación GTC 24	Resolución 0754 de 2014	Implementación del PGIRS

III. MEDIR

A. Plan de recolección de datos

Para llevar a cabo esta etapa se diseñó un plan de recolección de datos constituido y fundamentado por las variables, que permita medir las condiciones actuales de desempeño del sistema, que es el proceso de recolección ejecutado actualmente en la universidad. En la Tabla III; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar las variables con su respectiva descripción, el objetivo por el cual se escogieron y el indicador que se utilizará para medir sus cambios y progresos, de igual forma en la sección de anexos se presenta el plan de recolección completo (Anexo 3) el cual posee una información más amplia respecto a las variables utilizadas para el proyecto.

Para la recolección de las variables del proyecto se diseñó un plan, el cual consta de un horario establecido por los estudiantes para realizar el seguimiento de las rutas de recolección establecidas por el PGIR durante 3 semanas; sin embargo, debido a las medidas de prevención tomadas por la Universidad Javeriana que fueron causadas por el COVID-19 se optó por realizar estas mediciones de manera simulada, mediante el uso de herramientas tales como: Excel, *Google Earth*, pronósticos y simulación Montecarlo. Además, se obtuvieron registros históricos de generación de residuos según sus categorías y la generación por parte de los concesionarios, estos datos fueron brindados por la ingeniera ambiental Margarita Jaramillo de la oficina de recursos físicos de la Pontificia Universidad Javeriana Cali. También a través de documentos oficiales de registro académico, se obtuvo la información respecto al número de estudiantes tanto de pregrado como de posgrado, profesores, personal administrativo, colaboradores, mapa actualizado de la Universidad e información sobre el crecimiento de la infraestructura.

Tabla III.
Definición de variables.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	OBJETIVO	INDICADOR
Ubicación de los puntos ecológicos en el campus.	Se llevo a cabo con la exploración del campus identificando la ubicación de los diferentes puntos donde se encuentren botes de residuos, para ello se cuenta con un mapa actualizado de la Universidad y los horarios de los operarios, que servirán como apoyo, evidenciando todos los puntos que deben visitar.	Identificar la cantidad de puntos ecológicos que hay en cada zona, con el fin de tener una mejor visualización grafica para el análisis de las diferentes rutas, distancias entre puntos y posibles fallas en el ruteo, como puntos no involucrados o poca utilización de estos.	Número de puntos ecológicos/zona. PE_z z= zona
Variación de puntos ecológicos frente a cambio de infraestructura en la Universidad Javeriana Cali.	Se utilizaron documentos en los cuales se registre la variación de puntos ecológicos debido al cambio de infraestructura que ha tenido la universidad en los últimos años.	Teniendo en cuenta el factor de cambio frente a infraestructura, se analizará el número de puntos ecológicos incluidos en las rutas estipulada por el PGIR y los que no, con el fin de incluirlos.	Variación puntos ecológicos $\%C = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} * 100$ P_t = Puntos ecológicos 2020 P_{t-1} = puntos ecológicos 2018
Cantidad de residuos sólidos generados anuales.	Se usaron documentos institucionales que contengan la cantidad de residuos generados desde enero 2015 hasta enero 2020, adicional a esto, se usará el método que mejor se ajuste al comportamiento de la generación de residuos con el propósito de pronosticar los residuos que se podrían generar durante 5 años.	Con esta variable, se podrá identificar el comportamiento que ha tenido los residuos con el fin de pronosticar a futuro y tomar medidas al respecto, tales como analizar si la frecuencia, las rutas y los puntos actuales son suficientes tanto a presente como a futuro.	Cantidad de residuos en kg / año $RS_t = RSR_t + RSO_t + RSC_t$ RS_t = Residuos sólidos RSR_t = Residuos sólidos reciclables RSO_t = Residuos sólidos ordinarios RSC_t = Residuos sólidos concesionario t = tiempo

<p>Tiempo total de recolección por ruta</p>	<p>El tiempo entre paradas se calculó teniendo en cuenta la distancia entre un punto de recolección y otro, el cual se sacará a través de <i>Google Earth</i> y la velocidad, se estimará con una simulación Montecarlo con la función de distribución uniforme, además, se estimará un tiempo en el cual el operario realiza la recolección de los residuos.</p>	<p>Se podrá determinar si existen rutas que no cumplen con el horario establecido con el fin de proponer un nuevo plan de recolección que implique menores tiempos.</p>	<p>Tiempo total de la ruta (min).</p> $\sum_p^p \frac{Tiempo_r}{\forall r} = \frac{D}{V} + N_p * (T_C)$ <p>p = puntos ecológicos r = rutas D= Distancia (m). V= Velocidad (m/s). N_p= Número de paradas. T_C=Tiempo de recolección (s).</p>
<p>Capacidad total de residuos depositados en los contenedores de basura en el campus.</p>	<p>Se tomaron documentos donde se registren la capacidad de los diferentes tipos de contenedores con el propósito de averiguar la cantidad de residuos que se pueden depositar en total en los diferentes puntos del campus.</p>	<p>Se tendrá en cuenta con el propósito de identificar la necesidad de aumentar o disminuir la cantidad de puntos ecológicos.</p>	<p>Capacidad total de residuos depositados en los contenedores de basura</p> $\sum_i^I CAP_{B_i} * (N_{B_i}) \text{ (litros).}$ <p>CAP_{B_i}= Capacidad de los diferentes botes de residuos N_{B_i}= Cantidad de botes de residuos en el campus. I= Botes de residuos</p>
<p>Frecuencia de recolección puntos ecológicos</p>	<p>Se utilizarán los documentos institucionales para mostrar la cantidad de rutas de recolección en los diferentes días y zonas, con ello se calculará la frecuencia de cada punto de ecológico.</p>	<p>Se determinará el número de veces que se debe realizar una recolección de residuos en un punto ecológico específico, con el fin de establecer la frecuencia ideal.</p>	<p>Rango de frecuencia.</p> $Rango = [min(V_p); máx(V_p)]$ <p>V_p= visitas a un punto/día</p>
<p>Cumplimiento del proceso de recolección</p>	<p>Se uso información proporcionada por la ingeniera ambiental Margarita Jaramillo para analizar el proceso realizado por los operarios en la recolección de los residuos, esta información se encuentra en el PGIR de la Universidad Javeriana Cali.</p>	<p>Se determinará si el proceso realizado es el adecuado según las exigencias del PGIR.</p>	<p>Cumplimiento del proceso.</p> $\text{Cumplimiento del proceso} = \begin{cases} 1 & \text{si cumple} \\ 0 & \text{no cumple} \end{cases}$
<p>Distancia recorrida por ruta</p>	<p>Las distancias entre una parada y otra se medirán con Google Earth, programa que permite seguir las rutas que están establecidas por el PGIR, para encontrar las distancias totales de cada una de las rutas.</p>	<p>Teniendo en cuenta la distancia en cada una de las rutas, se podrá determinar cuáles son las rutas más extensas, además, servirá para determinar lo tiempos entre una parada y otra.</p>	<p>Distancia total de la ruta.</p> $\sum_p^p \frac{Distancia_{pp^*}}{\forall r} \text{ (metros), donde } p \neq p^*.$ <p>p = puntos ecológicos r = rutas</p>

B. Medición del sistema actual

Teniendo en cuenta la situación planteada anteriormente, la Pontificia Universidad Javeriana Cali, presenta un crecimiento demográfico que ha impactado el PGIR, por esta razón, el equipo de trabajo definió una serie de variables que responden a los requisitos de los grupos de interés y busca implementar una medición de dichas variables que permitan calcular la situación actual de la Universidad. Cada una de estas variables contribuirá para determinar la posición en la que se encuentra la Universidad respecto al PGIR, ilustradas en la Tabla IV.

Tabla IV
Medición de variables

Variable	Actualidad	Meta
Ubicación de los puntos ecológicos en el campus.	La zona 1 presenta 33 puntos con 101 botes de residuos y la zona 2 con 49 puntos ecológicos y 131 botes, como se puede observar en la Fig. 11.	Ubicación de los puntos ecológicos de tal manera que cumplan con las necesidades de la comunidad javeriana, que implica que estén disponibles y en una ubicación idónea donde no implique desplazamientos muy largos.
Variación de puntos ecológicos frente a cambio de infraestructura en la Universidad Javeriana Cali.	Puntos ecológicos en el 2020=100 Puntos ecológicos en el 2018= 97 El 3% de los puntos no se encuentran incluidos en las rutas del PGIR	Se involucrará el 100% de los puntos ecológicos faltantes en las rutas.
Cantidad de residuos sólidos generados anuales.	Cantidad total de residuos sólidos generados en kilogramos: 2015=169.102 2016= 191.920 2017= 139.983 2018= 138.203 2019= 159.816 En la Fig. 12 y Tabla VII se puede ver la tendencia y la cantidad generada por cada tipo de residuos anual.	Cubrir las necesidades de recolección de residuos de los próximos 5 años, donde se presenta un promedio de 159.622 kg/año, con una variación 2.77% anual.
Tiempos de recolección por ruta (Minutos)	Tiempos de recolección por ruta según su zona Zona 1: Zona 2: R1: 73 R1:112 R2: 76 R2:115 R3: 59 R3:114 R4: 65 R4:112 R5: 60 R5:110 R6: 67 R6:123 R7: 58 R3:108 R8: 55 R4:109	Tiempo máximo de recolección por ruta según la zona Zona 1: Zona 2: R1: 103 R1:135 R2:96 R2:116 R3: 69 R3:81 R4: 75 R4:78 R5: 84 R5:135 R6: 96 R6:124 R7: 63 R3:81 R8: 57 R3:78
Capacidad total de residuos depositados en los botes de basura en el campus.	La universidad cuenta con tres tipos de contenedores de residuos: <ul style="list-style-type: none"> • Cinco contenedores de 121 litros con un volumen de 0,38 m³. • Nueve contenedores de 35 litros con un volumen de 1,7x10⁻⁷ m³. • 240 contenedores de 55 litros con un volumen de 2,5x10⁻⁷ m³. Volumen total de 1,9 m ³ .	Actualizar los contenedores de residuos según la resolución 2184 y ajustar la capacidad de depositar residuos según los pronósticos a cinco años de la generación con un valor de 4,38 m ³ /día de RS.

Frecuencia puntos ecológicos.	En la actualidad se observa que la frecuencia de los diferentes puntos ecológicos del campus esta entre una y seis veces por día.	Cumplir con los requerimientos de recolección necesaria respecto a cada punto ecológico con el fin de mantener el punto aseado y disponible para la comunidad javeriana y sus visitantes.																		
Cumplimiento del proceso de recolección.	Los operarios encargados de la recolección realizan el debido proceso de limpieza y separación de los puntos asignados, según lo estipulado por el PGIR.	Capacitar a los operarios, para la realización de los procesos, según la nueva resolución 2184.																		
Distancia recorrida por ruta (km)	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Zona 1:</td> <td style="width: 50%;">Zona 2:</td> </tr> <tr> <td>R1: 1.9</td> <td>R1:2.1</td> </tr> <tr> <td>R2:1.5</td> <td>R2:2.2</td> </tr> <tr> <td>R3: 1.2</td> <td>R3:2.2</td> </tr> <tr> <td>R4: 1.3</td> <td>R4:2.1</td> </tr> <tr> <td>R5: 1.4</td> <td>R5:2.1</td> </tr> <tr> <td>R6: 1.5</td> <td>R6:2.3</td> </tr> <tr> <td>R7: 1.3</td> <td>R3:1.9</td> </tr> <tr> <td>R8: 1.3</td> <td>R3:2.1</td> </tr> </table>	Zona 1:	Zona 2:	R1: 1.9	R1:2.1	R2:1.5	R2:2.2	R3: 1.2	R3:2.2	R4: 1.3	R4:2.1	R5: 1.4	R5:2.1	R6: 1.5	R6:2.3	R7: 1.3	R3:1.9	R8: 1.3	R3:2.1	Diseñar distancias de acuerdo con la capacidad del carro recolector en el cual se satisfaga la demanda de recolección.
Zona 1:	Zona 2:																			
R1: 1.9	R1:2.1																			
R2:1.5	R2:2.2																			
R3: 1.2	R3:2.2																			
R4: 1.3	R4:2.1																			
R5: 1.4	R5:2.1																			
R6: 1.5	R6:2.3																			
R7: 1.3	R3:1.9																			
R8: 1.3	R3:2.1																			

Con el propósito de profundizar más sobre el análisis de las variables medidas se tiene el informe de situación actual en el Anexo 11.

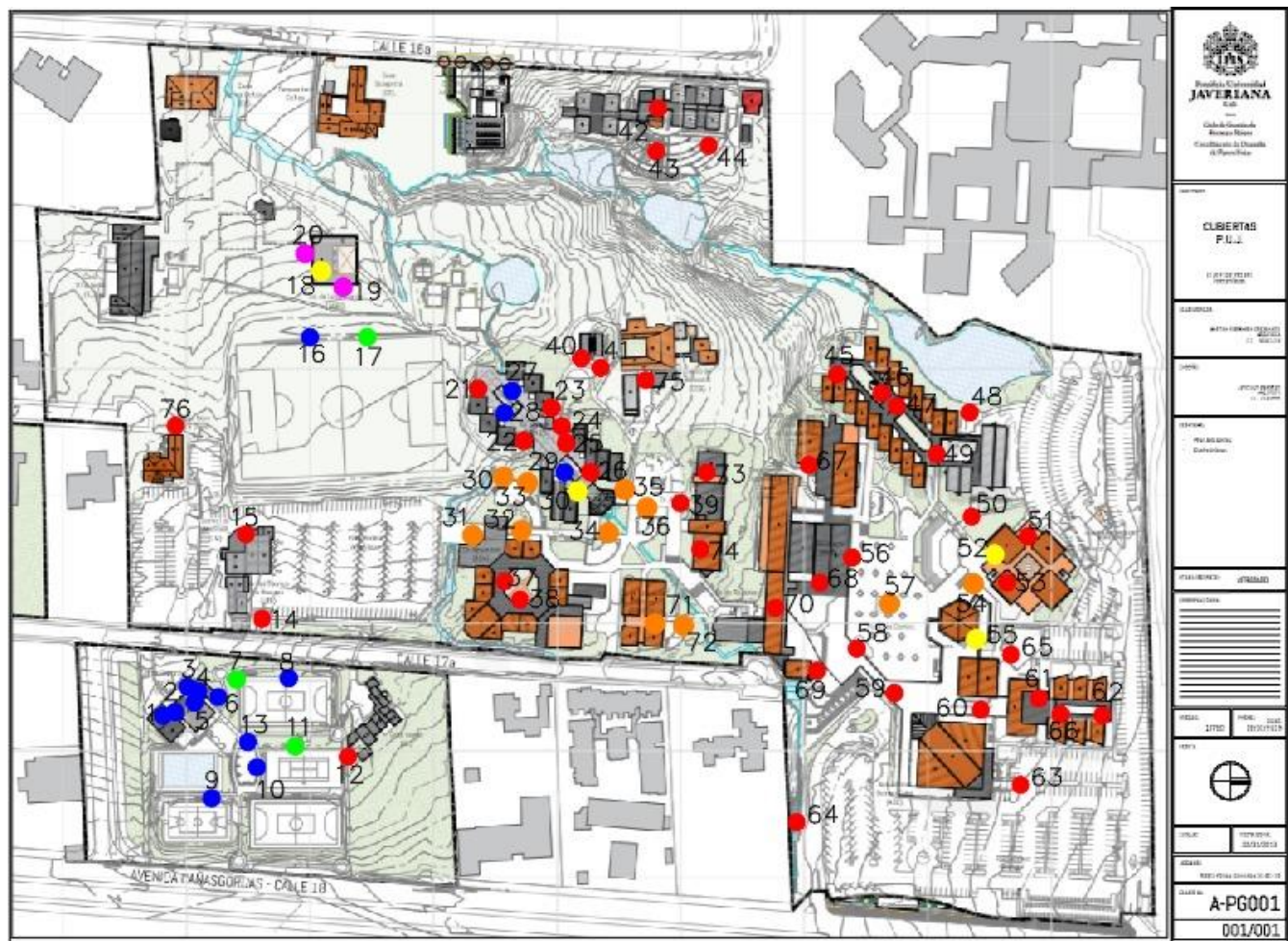


Fig. 11 Ubicación puntos ecológicos. Modificado de [13]

En la Fig. 11 se observa el mapa actualizado de la universidad donde se presentan los diferentes puntos ecológicos de la Universidad, los cuales se encuentran enumerados y coloreados según las características del punto ecológico, es decir, la cantidad de contenedores que posee y el código de color que tiene, para un mejor entendimiento se presenta la Tabla V, la numeración se muestra con el fin de especificar la ubicación de los puntos, puesto que un punto ubicado en el mapa en un edificio puede representar que está en varios pisos, se especifican en la Tabla VI.

Tabla V.
Descripción de los puntos ecológicos.

Punto	Descripción
Rojo	Punto ecológico con tres canecas de residuos de color verde, gris y azul.
Naranja	Punto ecológico con cuatro canecas de residuos de color verde, gris, azul y beige.
Rosado	Punto ecológico con dos canecas de residuos de color azul y gris.
Amarillo	Punto especial de solo papel o botellas
Verde	En este punto se encuentra un bote de residuos de color verde.
Azul	Se encuentra un bote de residuos de color Azul.

Tabla VI.
Ubicación puntos ecológicos.

No. Punto	Ubicación
1, 2, 3, 4, 5 y 6	Caseta CDL
7 y 8	Cancha fútbol CDL
9	Cancha básquetbol CDL
10	Carpa CDL
11	Cancha Tenis CDL
12	Casa Loyola
14	Por portería CDL
15	Laboratorio Civil
17 y 16	Cancha fútbol 11
18, 19 y 20	Cedro rosado
21 al 29	Samán primer y segundo piso
30 al 33	Plazoleta de comidas entre samán y almendros
34 al 36	Plazoleta de comidas de Samán
37 y 38	Almendros, primer, segundo y tercer piso
39	Frente al edificio administrativo
40 y 41	Garitea
42 al 44	Acacias
45	Entrada Lagos por Acacias (2° Piso) y cuarto frente a baño.
46	Frente a baños primer y tercer piso.
47	Salida Lagos por biblioteca
48	Atrás de Lago por Café sabor.
49	Salida Lagos por Guayacanes
50	Entre Guayacanes y Lagos
51	Guayacanes primer, segundo, tercer y cuarto.
52 y 53	Salida guayacanes
54 y 55	Central
56	Frente Bonísimo
57	Plazoleta de comidas Central
58	Frente CGE
59	Frente ABC
60	Frente tienda Javeriana
61	Palmas
62	Palmas frente salones en todos los pisos
63	Por parqueaderos
64	Por portería principal peatonal
65	Entre Palmas y central
66	Palmas frente salones en todos los pisos
67	Facultad de administración
68	Biblioteca
69	Capilla

70	Entre registro y facultad Ing.
71 y 72	Plazoleta guayacanes
73 y 74	Edificio administrativo
75	Bienestar
76	Casa Villa Javier

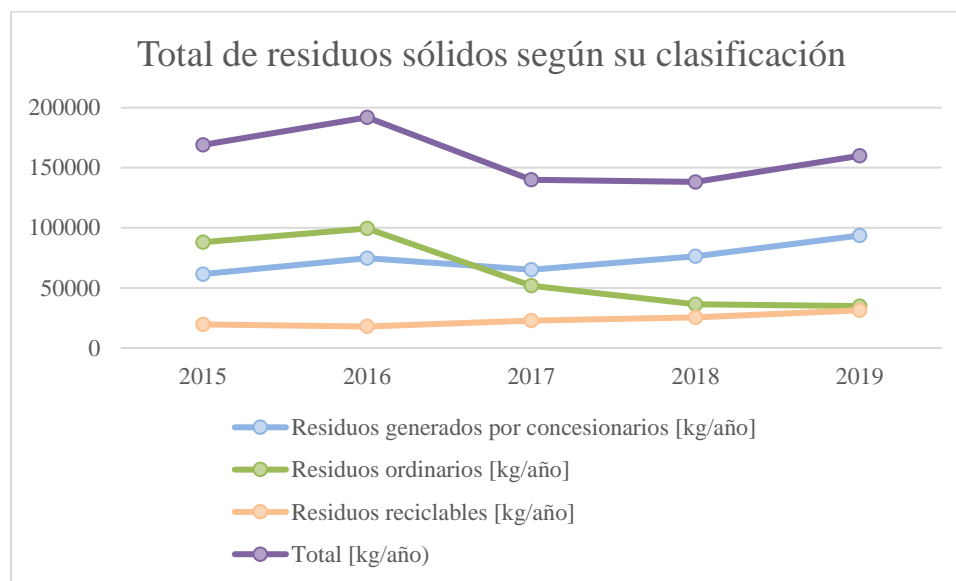


Fig. 12. Total, de residuos sólidos anuales según su clasificación. Modificado de [Anexo 5].

En la Fig. 12 se muestra la tendencia que presenta cada tipo de residuos en kilogramos/año y la sumatoria de estos ilustrando el total que genera la universidad cada año, al principio presenta una disminución notoria desde el 2015 al 2017 de 17.22%, sin embargo, se analiza que a partir del 2017 al 2019 se muestra un incremento del 14.17% haciendo evidente que, aunque se presentan medidas para los residuos ordinarios, también se deben implementar para los de tipo reciclable y provenientes de los concesionarios. En la Tabla VII se presenta los datos de la generación de residuos y su total.

Tabla VII.
Residuos generados anuales. Modificado de [Anexo 5].

AÑOS	Residuos generados por concesionarios [kg/año]	Residuos ordinarios [kg/año]	Residuos reciclables [kg/año]	Total
2015	61495	87973	19633,9	169.102
2016	74602	99445	17872,8	191.920
2017	65217,1	51874,7	22891,49	139.983
2018	76207,9	36420,2	25575	138.203
2019	93592,2	34885,3	31338,2	159.816

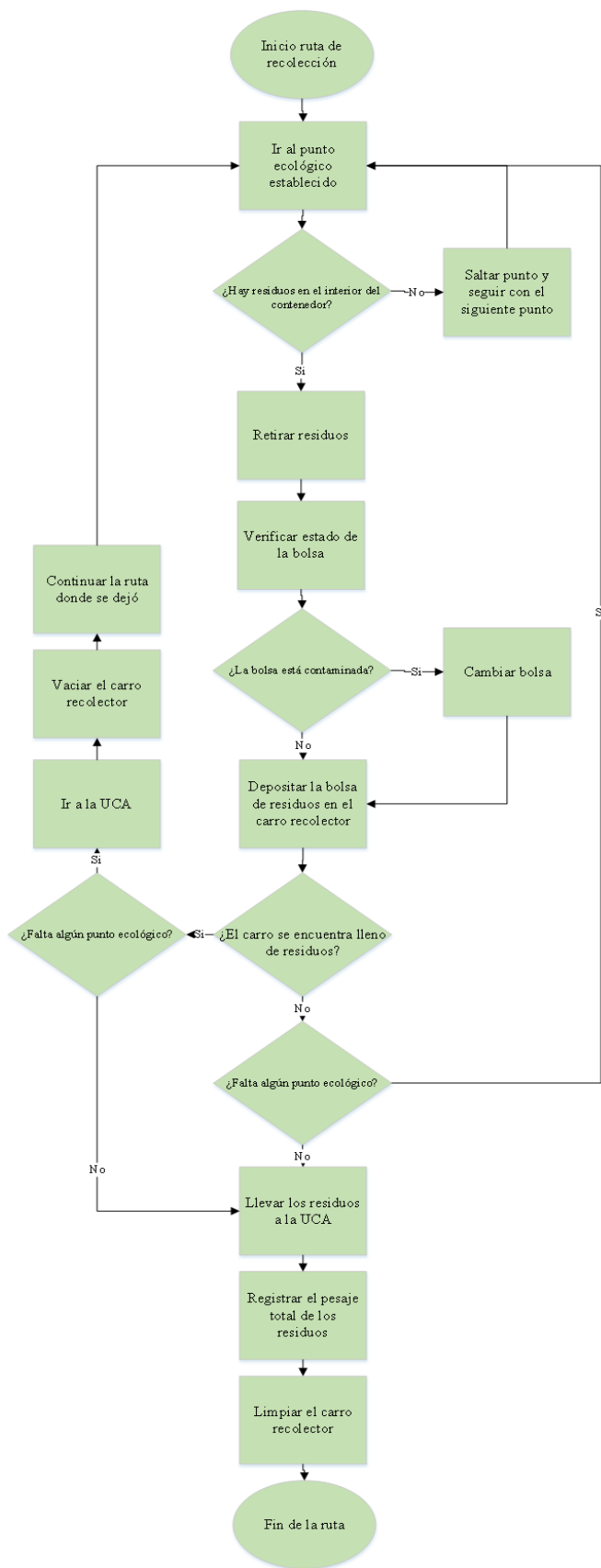


Fig. 12. Diagrama de flujo del proceso de recolección de residuos.

Para demostrar el método que los operarios utilizan en el proceso de recolección de residuos en los puntos ecológicos, se realiza un diagrama de flujo para describir el desarrollo de las macro rutas indicando los pasos a seguir para ejecutar la recolección de manera adecuada según los requerimientos establecidos por el PGIR, se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

A partir de la Fig. 12, se identifica como punto crítico el proceso de retirar residuos, donde el operario debe de retirar los residuos del bote de basura para posteriormente introducirlos en el carro recolector, una vez se repita este procedimiento varias veces, la capacidad del carro recolector llegará a su límite generando un cuello de botella, que representa el proceso de dirigirse a la UCA para descargar los residuos que ha recogido hasta el momento y luego incorporarse a la ruta nuevamente para realizar el debido procedimiento con los puntos restantes. Este desplazamiento hacia la UCA es llamado retroceso, puesto que afecta los tiempos de las rutas restantes e impide un desarrollo continuo en las mismas.

IV. ANALIZAR

A. Análisis de Causas

Con la información expuesta en etapas anteriores junto con la identificación del problema planteado, se realizó un diagrama causa efecto el cual permite ver las causas que contribuyen a la situación actual, teniendo en cuenta los factores que influyen negativamente en la realización del proceso. Ver Fig. 13.

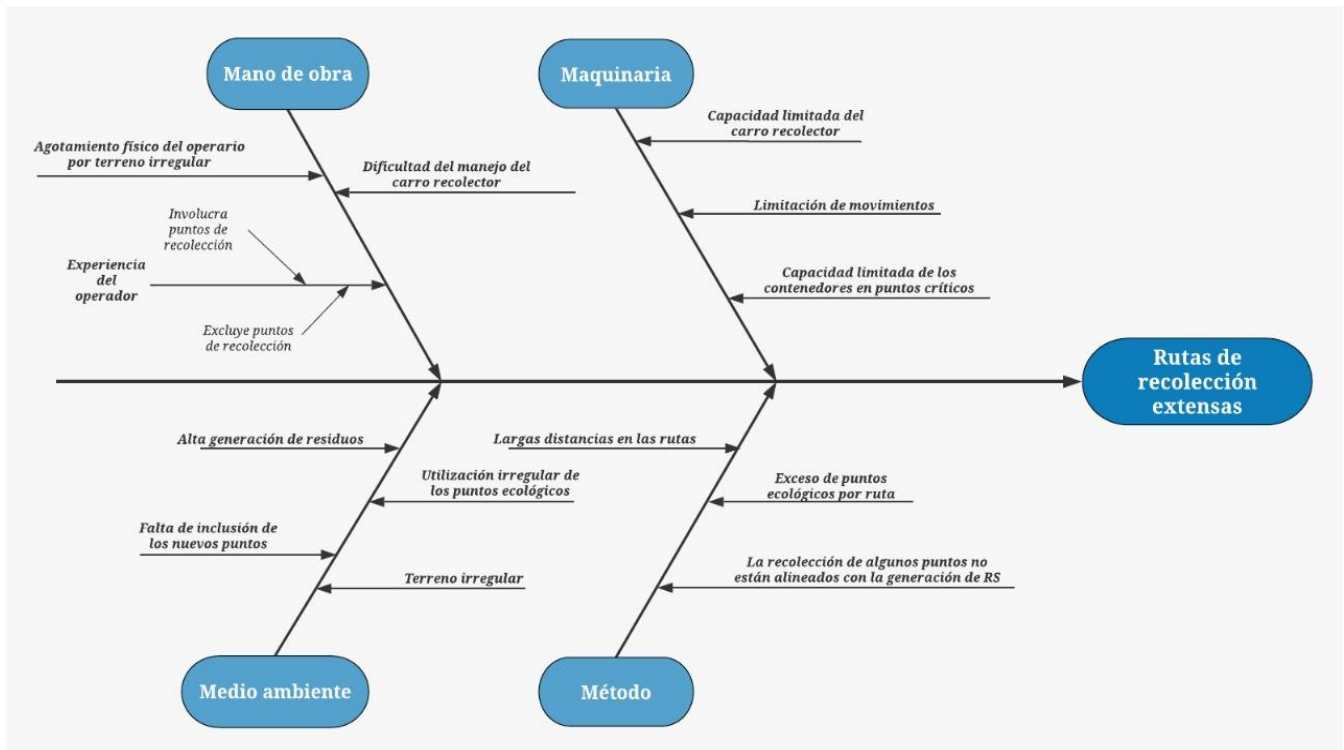


Fig. 13 Diagrama causa efecto

El diagrama está compuesto por causas y subcausas que componen el efecto, es decir, el problema, que en este caso son las rutas de recolección extensas, ya que éstas presentan varios puntos donde la cantidad de residuos depositados supera la capacidad del carro recolector ocasionando atrasos. Se empezó el desarrollo del diagrama con la categoría de mano de obra, la cual posee tres causas, la primera es el agotamiento físico del operario debido al terreno irregular que presenta la topografía de la universidad, la segunda es la dificultad del manejo del carro recolector, debido a que no se encuentra adaptado a las irregularidades topográficas de la universidad y la tercera, es la experiencia del operador, conformada por dos subcausas, la primera, cuando el operario realiza la ruta de recolección y en un determinado punto no hay residuos, lo excluye haciendo notorio que algunos puntos que están incluidos en rutas y horarios no son realmente necesarios, y la segunda se basa en el involucramiento de puntos de recolección

que no están incluidos en la ruta que se está realizando según el PGIR, esto ocurre cuando el operario visualiza que ese punto se encuentra rebosado, ocasionando que se alargue la distancia de recorrido y tiempo total de recolección.

Respecto a la categoría maquinaria, se identificaron como causas: la capacidad limitada de los contenedores en puntos críticos, puesto que en ocasiones se observan bolsas de residuos al lado de estos o contenedores rebosados lo que se vuelve un problema debido a que la capacidad no es suficiente respecto a la generación; otra causa, la limitación de movimiento, la cual se genera por dos motivos, el primero es debido a la topografía de la Universidad donde en algunas ocasiones se realizan recorridos extensos y el segundo por el alto flujo de personas que obstaculizan al operario, por último, la capacidad limitada del carro, debido a que no es suficiente para recolectar los residuos depositados en los puntos de recolección pertenecientes a cada ruta.

En la categoría de medio ambiente se presentan cuatro causas las cuales influyen en el problema raíz: la alta generación de residuos, la cual presenta una tendencia creciente en el transcurso de los años debido a un aumento en la población de la comunidad Javeriana; el terreno irregular que hace referencia a la topografía que posee la Universidad, que dificulta el transporte de los residuos; la falta de inclusión de los puntos ecológicos, esto se debe al incremento de la infraestructura, donde se presenta la necesidad de establecer nuevos puntos ecológicos los cuales no tienen una ruta asignada, por lo tanto, se requiere incluirlos en el plan de recolección; por último, la utilización irregular de los puntos ecológicos, se debe a que algunos puntos poseen poco uso, mientras que otros presentan un uso mayor.

Para finalizar, la categoría método que está compuesta por 3 causas, las cuales son, las largas distancias de las rutas, el exceso de puntos ecológicos por ruta y que las rutas no se encuentran alineadas con los horarios de generación de residuos sólidos de cada punto ecológico.

B. Revisión de literatura

De acuerdo con el problema planteado, se realiza una revisión de literatura con el propósito de analizar las diferentes soluciones y metodologías usadas por otros autores con el fin elaborar un benchmarking e identificar diferentes planteamientos que ofrecen buenos resultados.

Inicialmente, se consultó el caso de estudio, “Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas SIG: un caso de estudio” [14]. Este proyecto propone mejorar el sistema de recolección de los Residuos sólidos urbanos en 2 localidades del municipio de Villaflores, México, mediante a la utilización de datos geográficos combinado con el análisis espacial basado en un software SIG para obtener una disminución en los tiempos de recorrido. Obteniendo una reducción en el número total de nodos y el consumo de combustible por parte de los vehículos. Además, el modelo implementado redujo el número de paradas de 203 a 89 en ambas localidades.

Por otro lado, la Revista chilena de ingeniería *Ingeniare*, publicó el artículo “Modelo ACO para la recolección de residuos por contenedores” [15]. Que consiste en la utilización de un modelo ACO para un plan de recolección de residuos. Este, es un método meta heurístico que imita el comportamiento de las colonias de hormigas para solucionar problemas de optimización, utilizando diferentes herramientas computacionales. Este trabajo de investigación aplica una metodología de secuencias parciales de recolección para minimizar las distancias recorridas. Mediante al algoritmo ACO se logra unir dichas secuencias parciales para así, aplicar el modelo en un sector de San Pedro de la Paz, Chile, obteniendo rutas de recolección que reducen la distancia total recorrida respecto a la situación actual de las rutas utilizadas, y de la solución obtenida con otro modelo desarrollado previamente.

De igual forma, el artículo de investigación científica “Optimización aplicada a un problema de recolección de residuos industriales” [16], refleja la segunda etapa de un trabajo sobre el ruteo de un grupo de vehículos pertenecientes a la empresa Cerromatoso S.A. Para el problema de investigación, se realizaron distintos métodos heurísticos y meta heurísticos para la comparación y el análisis de los resultados, para ello se tuvo en cuenta *TSP-PLEB*, *CVRP-PLEB*, *OVRP-Vecino más cerca*, *K-OPT*, *VRP- Método ahorros*, *VRP-Método Barrido* y *Optimización Tabú search*.

Así mismo, el artículo “Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: sistemas de caja fija (SCF)” [17] afirma que la falta de una infraestructura adecuada para la gestión integral de residuos es un serio problema ambiental en cualquier localidad. Por lo tanto, se decide presentar un desarrollo metodológico para el diseño de un plan de recolección de residuos sólidos urbanos con sistemas de caja fija, en el cual se tendrá en cuenta la variación temporal en las cantidades generadas y recolectadas. Para esto se analizan 3 factores: coeficiente punta semanal, coeficiente punta

diario y coeficiente punta diario de distribución heterogénea, permitiendo el desarrollo de métodos razonables que se ajusten a las tasas de generación y recolección.

También, se tuvo en cuenta el artículo científico, “Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios” [18], con el fin de mejorar el sistema de recolección de residuos sólidos de la Ciudad Victoria en México. Para esto, se propone una metodología de diseño de rutas, que optimice la ruta que se debe seguir, y además recomiende la localización de los puntos de recolección. Esta metodología identifica 2 puntos importantes, el primero, la identificación del modelo matemático adecuado para el problema, y el segundo, que consiste en la utilidad de herramientas como la programación lineal, utilizando la ayuda de datos georreferenciados GIS, para determinar el tipo de camión, los tiempos de recorrido actuales, y a partir de ahí iniciar la elaboración de la propuesta más viable para la recolección de residuos sólidos en la ciudad, evaluando tiempos y movimientos.

Además, como se indica en el artículo de investigación científica “Optimización de recorridos para la recolección de residuos infecciosos” [19], se analizó el uso de una metodología para la selección de un grupo de rutas óptimas para la recolección de residuos en la ciudad de Río Cuarto, en Argentina. Para este proceso se tienen un grupo de vehículos con un límite de capacidad, por lo tanto, se formula el problema con programación lineal entera mixta. Su objetivo, consiste en proponer y obtener soluciones mediante un algoritmo de búsqueda exacta, con una heurística de búsqueda local.

En el artículo científico “Optimización de rutas de vehículos de recogida de basuras mediante recocido simulado” [20], se presenta la construcción de un algoritmo que tiene como fin, diseñar el plan de recolección de residuos en una zona rural usando la técnica recocido simulado como método de optimización. Para adaptar el modelo al problema se modificó el algoritmo base para ingresar restricciones concretas que posee el problema, como la limitación de capacidad del camión o la jornada laboral. Finalmente, se aplica el programa desarrollado a casos reales y se determina que los resultados son mejores respecto a otros algoritmos como el heurístico de Clarke y Wright.

Finalmente, la revista científica de ingeniería de la Universidad de los Andes publicó un artículo aplicado en Santa Fe de Bogotá llamado “Asignación de rutas de vehículos para un sistema de recolección de residuos sólidos en la acera” [21]. Este artículo busca optimizar el sistema de recolección para los sectores urbanos, analizando un problema combinatorio en el cual se atraviesan todos los arcos obteniendo una red mixta. Adicionalmente, el problema contiene restricciones de tiempo y de capacidad del vehículo. Por lo tanto, se propone una formulación flexible que funciona con redes separadas de recolección y transporte. También se propone un esquema de secuenciación para asignar rutas. Al final, El desempeño del modelo se analiza bajo diferentes escenarios y se aplicó a una zona de recolección de Bogotá obteniendo resultados satisfactorios.

En el anexo 14 se puede visualizar el autor, año, tipo de literatura, título, dónde se aplicó el caso de estudio, objetivos, metodología empleada, resultados que se obtuvieron al desarrollar las soluciones y el aporte que esta ofrece al proyecto

C. Exploración de ideas y selección de alternativa

Ahora bien, considerando el problema ya expuesto sobre rutas extensas de recolección, se analiza que es un problema de ruteo de optimización combinatoria y de programación binaria, el cual pretende hallar la ruta óptima, sin embargo, el encontrar la solución óptima es difícil, considerando que el número de iteraciones para posibles soluciones es demasiado grande, lo que ocasiona una alta complejidad computacional, con un tiempo de respuesta polinómico, categorizándolo como un problema NP-hard.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza un *Brain Writting* para identificar posibles alternativas de solución considerando los diferentes tipos de algoritmos, ya sean exactos o aproximados; al ser un problema combinatorio, se tiene en cuenta que, no se puede elegir un único método ya que al basarse en un problema NP-hard, puede que un modelo exacto no ofrezca una solución a causa de la complejidad del problema, por tal motivo se recurriría al uso de modelos aproximados, donde se deben de probar varios métodos con el propósito de comparar y obtener la mejor solución, por ello la selección de alternativas se hizo respecto a diferentes estilos de algoritmos en vez de métodos de solución. En este proceso de selección se presentaron como alternativas los modelos exactos, meta heurísticos, heurísticos, hiper heurísticos y los híbridos.

Los modelos exactos son un grupo de algoritmos que comparten técnicas analíticas y matemáticas, que tienen como fin una solución que convergen al óptimo, siempre y cuando exista. Estos modelos son representaciones reales de una situación en forma matemática, está compuesto de símbolos, funciones y números que representan variables de decisiones, parámetros y restricciones que permiten analizar el comportamiento de un sistema que se definen para encontrar soluciones factibles. Las soluciones de estos métodos se basan en los algoritmos de *Branch and Bound* y *Branch and Cut*.

Los heurísticos son modelos enfocados a problemas difíciles de solucionar, es decir, problemas NP-hard, debido a su alta complejidad y tiempos de respuesta computacional elevado, ocasionando que no se pueda llegar a una solución óptima, es por ello, que, a través de heurísticas, se trata de desarrollar procedimientos eficientes para encontrar buenas soluciones.

Las meta heurísticas consisten en métodos de diseño aproximado, que tienen como fin, resolver problemas de optimización, en los cuales un método heurístico no es efectivo. Estos buscan plantear un panorama general utilizando herramientas como estadística e inteligencia artificial. Su mayor ventaja respecto a otros métodos es su flexibilidad que le permite afrontar una mayor cantidad de problemas

El método de hiper heurística se utiliza como una nueva técnica para resolver problemas de optimización combinatorios que sean muy complejos. Este método surge debido a la complejidad de desarrollo que tienen las heurísticas y meta heurísticas, y su bajo nivel de reutilización. De esta forma, busca abarcar el problema de manera más general, siendo aplicable en múltiples estancias de un problema, o en problemas distintos. Además, en un modelo hiper heurístico, es de suma importancia identificar cual es la mejor manera de resolver una situación particular, sin prestar mucha atención al problema como tal, para esto, el método utiliza heurísticas de bajo nivel, las cuales van ofreciendo soluciones potenciales al problema.

El método híbrido es una metodología que se basa en analizar la parte cualitativa y cuantitativa de un problema, busca combinar dos métodos en un mismo estudio, cada método se encarga de analizar la fase del problema que le corresponde para luego consolidar sus resultados con el fin de obtener información más rigurosa. Los métodos para usar dependen del objetivo del problema, es decir, puede variar el método según el enfoque que se tenga. En este caso, lo ideal sería tener una combinación de modelos exactos con heurísticas, meta heurísticas, para así tener un estudio más amplio sobre la situación, además, al aplicar este método el tiempo de respuesta es más eficiente, el ¿Qué? Y el ¿Por qué? se responden de una forma más sólida y ayuda a la toma de decisiones y, por último, se tiene una validación en ambos métodos.

Considerando las alternativas expuestas, se realiza un proceso analítico jerárquico (AHP) con el fin de encontrar la mejor solución bajo decisiones que más se ajustan a las necesidades y comprensión del problema, para ello se establecen cinco criterios de decisión los cuales son: la precisión del modelo a escoger, la eficiencia de los modelos, la cual evalúa la capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función, tiempo de respuesta, que evalúa el tiempo de procesamiento que le toma al programa utilizado arrojar un resultado, complejidad de desarrollo del modelo y realista, que este consiste en determinar que alternativa posee mayor sentido práctico y se ajuste mejor al problema.

En el desarrollo del AHP no se consideró involucrar los modelos exactos puesto que estos son los primeros que se deben realizar para encontrar la solución óptima, en caso de que estos no converjan a una solución debido al elevado tiempo de respuesta computacional se obtienen la decisión tomada por el AHP la cual fue la de modelos híbridos. El debido proceso y jerarquización de los diferentes criterios y alternativas de acuerdo con esos criterios se puede ver en el Anexo 12.

D. Objetivos

Objetivo general:

Rediseñar el plan de ruteo para la recolección de RS en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance con el fin de una disminución en la distancia total recorrida evitando retrocesos a través de modelos matemáticos.

Objetivos específicos:

- Identificar el proceso actual de recolección de los residuos sólidos de la Universidad.
- Diseñar un modelo que se ajuste a los requerimientos de la Universidad y ofrezcan la mejor solución al problema.
- Evaluar la viabilidad técnica y financiera de la solución a implementar.
- Comparar la eficiencia con respecto al sistema actual.

E. Plan de trabajo (PdT)

Tabla VIII.
Plan de trabajo

Objetivo general						
Rediseñar el plan de ruteo para la recolección de RS en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance con el fin de una disminución en la distancia total recorrida evitando retrocesos a través de modelos matemáticos.						
Objetivo	Actividad	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	#	Entregable	Fecha entrega
Identificar el proceso actual de recolección de los residuos sólidos de la Universidad.	Analizar las rutas de recolección.	Work design and measurement	Time study elements	B2	Informe escrito de la situación actual de la Universidad	4/05/2020
	Medir el proceso actual través de simulaciones.	Operations research and analysis	Monte Carlo simulation	M1		
Desarrollar diferentes técnicas de investigación de operaciones que se ajusten a los requerimientos de la Universidad y ofrezcan la mejor solución al problema.	Investigación de diferentes alternativas.	Operations research and analysis	Operations research	A	Revisión de literatura	7/06/2020
	Diseño del modelo.	Operations research and analysis	Network flows and optimization	E	Resultados del modelo propuesto	24/08/2020
Evaluar la viabilidad técnica y financiera de la solución a implementar.	Evaluar la factibilidad del modelo.	Operations engineering and management	Operational metric	L	Informe sobre viabilidad de la solución propuesta y relación de beneficio/costo.	1/09/2020
Comparar la eficiencia con respecto al sistema actual.	Validar el modelo a través de herramientas computacionales.	Operations research and analysis	Simulation	M	Resultados del modelo simulado	20/10/2020
	Evaluar el sistema propuesto, respecto al sistema actual	Quality reliability engineering	Decision making based on data	I7	Informe del modelo propuesto vs actual	

V. MEJORAR

A. Desarrollo del diseño de la solución

Inicialmente se procedió a realizar una encuesta a los trabajadores de la UCA, en donde se entrevistó al señor Jair, con el fin de identificar los puntos ecológicos que se podrían considerar como críticos, faltantes, y poco utilizados, según la experiencia del operador; él clasificó los puntos ecológicos del 1 a 3, siendo 1 la clasificación más baja, definiendo así el punto ecológico como poco utilizado, el 3 es una clasificación alta, es decir, un punto ecológico que es utilizado en muchas ocasiones y el 2, como un punto medio. Frente a los puntos ecológicos poco utilizados se le preguntó al operario Jair cual podría ser una posible ubicación de estos o si deberían de eliminarse; para los puntos ecológicos que tiene un alto uso se preguntó si se debía aumentar la capacidad o poner un PE cerca (Anexo 15)

Teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos en modelación logística, se decidió reducir la cantidad de puntos ecológicos, debido a que un modelo no converge si el número de nodos es mayor a 30, por esta razón se agruparon dichos puntos en 22 nodos, tal como se observa en la Tabla IX, usando como criterio la toma de una localización central entre varios puntos cercanos. Además, se consideró pertinente mantener la división de zonas para la recolección, añadiendo así una tercera zona que se encuentra compuesta por los nodos de acacias, cedro rosado y la cancha; para así lograr reducir la distancia por ruta y evitar retrocesos.

Tabla IX.
Nodos y puntos ecológicos de zona 1

PUNTO	NODO
UCA 14-15	0
portería 64	1
Palmas 61-62 y 65-66	2
Auditorio 59-60	3
Central mesas 54-55	4
Central frutería	5
Fuente 56-57-58	6
Guayacanes 50-51, 53	7
Café sabor 47-49	8
Lago hacia acacias 45-46	9
Biblioteca 68,70	21
Facultad administración e ingeniería 67	22

Tabla X
Nodos y puntos ecológicos de zona 2

PUNTO	NODO
UCA 14-15	0
Guadales bienestar garitea 40-41	12
Hexágono de samán 22-25, 27-30	13
Sendero samán almendros 30-33	16
Facultad humanidades 39, 73-74	17
Almendros 37-38	18
Samán 34-35-36-39	19
Educación continua 71-72	20

Tabla XI
Nodos y puntos ecológicos de zona 2

PUNTO	NODO
Plazoleta acacias 43-44	10
Edificio acacias 42	11
Cancha 16-17	14
Cedro rosado 19-20	15

Una vez establecidos los nodos, se prosiguió a definir los conjuntos, variables y parámetros del modelo, en la Tabla XII se observa la descripción de variables, en la Tabla XIV la de conjuntos y en la Tabla XIII la descripción de parámetros. Para calcular las distancias entre nodos se usó la aplicación Mis Coordenadas, en donde se obtuvo la longitud y latitud, luego se usó la fórmula del Haversine para convertir las coordenadas a distancia en m. En la capacidad de los nodos se sumó la capacidad de cada uno de los puntos ecológicos pertenecientes a ese nodo. La capacidad del carro recolector se obtuvo de datos suministrados por la universidad. Para determinar en qué periodo o periodos se debe visitar un nodo, se calculó el número de combinaciones posibles que determina la cantidad de periodos en que se visita un nodo. Teniendo en cuenta que existe la posibilidad de que un nodo se visite en un solo periodo, se debe tener en cuenta un inventario que permita llevar una cuenta sobre la acumulación de residuos que tiene un nodo en los periodos que no se realiza una recolección. Para determinar la demanda se usaron los pronósticos calculados en la etapa de medición (Anexo 7), teniendo en cuenta estos datos se calculó la demanda en m³ por nodo asignado una proporción a la clasificación de cada nodo según el operario Javier (Anexo 16).

Tabla XII.
Definición de variables

VARIABLES	Tipo	Descripción
X_{ijt}	Binaria	1 si el arco (i,j) se establece en el tiempo t con el carro v 0 de lo contrario
W_{it}	Entera	Cantidad de residuos a recolectar en el punto ecológico i en el tiempo t
Y_{ivt}	Binaria	1 si el punto ecológico i es visitado para hacer una recolección en el periodo t por el carro v 0 de lo contrario
YY_{ip}	Binaria	1 si la combinación p es seleccionada para el punto ecológico i 0 de lo contrario
INV_{it}	Entera	Inventario que se genera en el punto ecológico i en el tiempo t
F_{ijvt}	Entera	Cantidad de flujo ficticio que va desde un punto i a j en el tiempo t por el carro v

Tabla XIII.
Definición de parámetros

Parámetro	Descripción
DIS_{ij}	Distancia del arco formado por el nodo i al nodo j
$Cap_P_E_i$	Capacidad de los puntos ecológicos i

Q	Capacidad del carro recolector
b_{pt}	Parámetro binario que indica si la combinación p existe una visita programada en el periodo t
l_{pt}	parámetro que indica el número de períodos de demanda futura que cubre el patrón p cuando se hace la recolección el tiempo t
a_i	Generación de residuo en cada punto ecológico i en el tiempo t

Tabla XIV.
Definición de conjuntos

Conjunto	Descripción
nodos	Conjunto de nodos ordenados
P_E	Conjunto de puntos ecológicos
Arcs	Conjunto de arcos formados por la unión del nodo j y el nodo i
C_R	Conjunto de carros recolectores de residuos indexado por v
tiempo	Tiempo, indexado por t
combinación	Conjunto de combinaciones de periodos, indexado por p

Mediante la función objetivo se espera minimizar la distancia total recorrida por los operarios en las rutas

$$\sum_{v=0}^v \sum_{t=0}^t \sum_{j=0}^j \sum_{i=0}^i DIS_{ij} * X_{ijtv}$$

En la Tabla XV se pueden observar las restricciones que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del modelo.

Tabla XV.
Definición de Restricciones

Número	Restricción	Descripción
1	$\sum_{\substack{s=0 \\ s \neq j}}^s F_{jsvt} - \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^i F_{ijvt} = -Y_{jvt}$ $\forall j \in P_E, t, v$	El flujo ficticio acumulado que sale de un nodo, menos el flujo acumulado de entrega que entra a ese nodo debe ser igual al valor negativo de la variable de activación para hacer una visita al nodo.

2	$F_{ijtv} \leq N(X_{ijvt}), \forall i, j \in \text{nodos}, v, t, i \neq j$	El valor de una variable de flujo ficticio en un nodo al que se le hará una entrega no puede ser mayor al número de nodos en el sistema, siempre y cuando el arco haya sido asignado.
3	$\sum_{\substack{j=0 \\ j \in PE}}^j F_{0jvt} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \in PE}}^j Y_{jvt}, \forall t, v.$	La cantidad de flujos ficticios acumulados que se envían desde la UCA a todos los nodos a los que se les hace una entrega, debe ser igual a la suma total de nodos a los que se les harán entregas.
4	$\sum_{\substack{j=0 \\ j \in \text{nodos} \\ i \neq j}}^j X_{jivt} = Y_{ivt}, \forall i \in PE, v, t.$	Balance, las entradas y salidas del nodo i deben ser igual a 1 cuando el nodo i es visitado por el carro recolector v en el periodo t.
5	$\sum_{\substack{j=0 \\ j \in \text{nodos} \\ i \neq j}}^j X_{ijvt} = Y_{ivt}, \forall i \in PE, v, t.$	
6	$\sum_{\substack{j=0 \\ j \in \text{nodos} \\ i \neq j}}^j X_{jivt} \leq 1, \forall i \in PE, t, v.$	Garantiza que a un nodo al que se le va a hacer un retiro, a lo máximo se llegue o salga de un único nodo por el carro recolector v en el periodo de tiempo t.
7	$\sum_{\substack{j=0 \\ j \in \text{nodos} \\ i \neq j}}^j X_{ijvt} \leq 1, \forall i \in PE, t, v.$	
8	$\sum_{v=0}^v Y_{ivt} \leq 1, \text{ donde } i \in PE, \forall i, t.$	Garantiza que solo un carro recolector v visite al punto ecológico i en el periodo t.
9	$\sum_{\substack{i=0 \\ i \in \text{nodos} \\ i \neq h}}^i Y_{ihvt} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \in \text{nodos} \\ j \neq h}}^j X_{hjvt}, \forall h \in PE, t, v.$	Garantiza que se llegue desde otro nodo al que ya se le hizo una entrega o desde el depósito, pero no desde el mismo en cada carro recolector y periodo de tiempo
10	$Y_{ivt} \leq \sum_{\substack{j=0 \\ j \in PE}}^j X_{0jvt}, \forall i \in PE, v, t.$	Si existe un punto ecológico al cual se le hará una recogida, garantizar que la ruta a efectuar salga y entre desde el depósito mediante un arco de entrega por cada carro recolector y tiempo.
11	$Y_{ivt} \leq \sum_{\substack{j=0 \\ j \in PE}}^j X_{j0vt}, \forall i \in PE, v, t.$	
12	$\sum_{v=0}^v Y_{ivt} = \sum_{p=0}^p B_{Pt}(Y_{Yip}), \forall i \in PE, t.$	Asegura que se asigne un patrón a un nodo que se active para una recogida respectivamente en un periodo de tiempo.

13	$\sum_{p=0}^p YYip = 1, \forall i \in PE.$	Garantiza que a un nodo se le asigne un solo patrón para el retiro de los residuos sólidos en los puntos ecológicos i.
14	$Wit = \sum_{p=0}^p Lpt * (YYip) * \left(\frac{Ai}{3}\right), \forall i \in PE, t.$	Las cantidades para recoger en un punto ecológico están definidas de acuerdo con el patrón que se seleccionado respectivamente.
15	$\sum_{\substack{i=0 \\ i \in PE.}}^i Wit \leq Q, \forall t.$	Asegura que la capacidad del vehículo no sea superada en el tour de retiro respectivamente en cada periodo de tiempo.
16	$INVit = INV_{it-1} + \left(\frac{Ai}{3}\right) - Wit, \forall i \in PE, t > 1$	Restricción que controla el inventario generado en cada punto ecológico.
17	$INVit = \left(\frac{Ai}{3}\right) - Wit, \forall i \in PE, t = 1.$	

Con base al modelo matemático desarrollado (ver anexo 20) se observa que se cumple con su totalidad en cuanto a los requerimientos, los cuales abarcan restricciones, especificaciones, normas y estándares de los grupos de interés; se mejoró la disponibilidad de los puntos críticos, sin embargo no se redujo la distancia entre el generador y el punto ecológico, debido a que la ubicación de los puntos se mantuvo, ya que no se encontró necesario saturar la universidad con más puntos ecológicos que no tuvieran un buen uso. El modelo proporciona una buena logística frente al manejo de las rutas de recolección de la universidad, puesto que ayuda a controlar que los puntos no se rebosen, evitando tanto problemas de salubridad como de estética del campus, además, con el desarrollo de este modelo, se espera estandarizar el proceso de recolección, teniendo en cuenta la resolución 2184. La inversión para la implementación del proyecto consiste en la actualización de la resolución 2184, además, de la inclusión de un nuevo carro recolector que permita la ejecución de 3 rutas en la tarde.

B. Validación del diseño propuesto

La validación del diseño se hizo mediante simulación Monte Carlo para los tiempos, comparando el antes en donde las rutas tenían un total de 1.418 minutos y el después 615.91 minutos, se puede contemplar que el tiempo total de recolección disminuyó, para la distancia se compararon las ocho rutas de las dos zonas que habían, respecto a las tres zona con sus rutas, las cuales son 12, 6 pertenecen a la zona 1, 3 a la zona 2 y 3 a la zona 3, cada una de ellas en periodos diferentes dependiendo de la zona, estas rutas tienen en total una distancia recorrida de 13.33 m, disminuyendo así la distancia total en 13.07 m respecto al recorrido anterior. La ubicación de los puntos y su variación frente a infraestructura no fueron afectadas significativamente. En la cantidad de residuos y capacidad de puntos ecológicos se consideraron los pronósticos hechos anteriormente (Anexo 7), para así diseñar un modelo que respete la demanda futura. En la Tabla XVI se observa la validación de todas las variables.

Tabla XVI.
Validación de variables

Variable	Validación
Ubicación de los puntos ecológicos en el campus.	En la ubicación de los puntos ecológicos, se buscó suplir las necesidades de los generadores pertenecientes a la comunidad javeriana, optando por dejar el mismo número de puntos que se tiene actualmente en la misma ubicación a excepción del punto en la capilla, debido a la información obtenida por parte de los operarios de la UCA, ya que era un punto de poco uso.

Variación de puntos ecológicos frente a cambio de infraestructura en la Pontificia Universidad Javeriana Cali.	Para la situación actual, se encontró que no se tenía un plan establecido para la recolección de residuos en el edificio cedro rosado, por lo tanto, en el proyecto se incluyó dicho edificio en el plan de recolección, cubriendo el 100% de los puntos ecológicos sin incluir CDL.																																							
Cantidad de residuos sólidos generados anuales.	Teniendo en cuenta la proyección a 5 años de la Universidad, se diseñó un modelo de recolección que satisfaga la generación de residuos producidos																																							
Tiempo total de recolección por ruta (minutos)	<p>Zona 1: R1: 46.25 R2: 57.26 R3: 71.78 R4: 79.01 R5: 47.02 R6: 65.13</p> <p>Zona 2: R7: 57.70 R8: 61.71 R9: 59.18</p> <p>Zona 3: R10: 21.03 R11: 20.77 R12: 29.06</p>																																							
Capacidad total de residuos depositados en los contenedores de basura en el campus.	Se actualizaron los puntos ecológicos de acuerdo con la resolución 2184, disminuyendo la cantidad de contenedores, pero aumentando su capacidad, logrando así que la capacidad de los puntos ecológicos sea de 8,46 m ³ , es decir, casi el doble de la generación de residuos a 5 años, la cual es de 4,38 m ³ /día.																																							
Frecuencia de recolección puntos ecológicos	Teniendo en cuenta la agrupación de puntos ecológicos en un nodo, se tiene que la recolección de residuos se debe realizar todos los días, con una frecuencia de 3 veces para los nodos 2, 3, del 10 al 13 y del 16 al 20, de 6 veces para los nodos del 4 al 9, el 21 y el 22, de 2 veces para el nodo 1 y de 1 vez para el nodo 14 y 15, permitiendo así que los puntos se encuentren aseados y disponibles para la comunidad javeriana y visitantes.																																							
Cumplimiento del proceso de recolección	La capacitación de operarios según la resolución 2184 será extendida hasta el regreso a clase normal, teniendo en cuenta, que hoy en día la Universidad trabaja bajo los protocolos de bioseguridad debido a la Pandemia COVID-19.																																							
Distancia recorrida por ruta (m)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>Periodo</th> <th>Distancia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>785.31</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>917.71</td></tr> <tr><td>1</td><td>3</td><td>846.63</td></tr> <tr><td>1</td><td>4</td><td>917.71</td></tr> <tr><td>1</td><td>5</td><td>785.31</td></tr> <tr><td>1</td><td>6</td><td>1224.6</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>1975.29</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>1975.29</td></tr> <tr><td>2</td><td>6</td><td>1975.29</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>625.06</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>625.06</td></tr> <tr><td>3</td><td>6</td><td>625.06</td></tr> </tbody> </table>	Zona	Periodo	Distancia	1	1	785.31	1	2	917.71	1	3	846.63	1	4	917.71	1	5	785.31	1	6	1224.6	2	2	1975.29	2	4	1975.29	2	6	1975.29	3	2	625.06	3	4	625.06	3	6	625.06
Zona	Periodo	Distancia																																						
1	1	785.31																																						
1	2	917.71																																						
1	3	846.63																																						
1	4	917.71																																						
1	5	785.31																																						
1	6	1224.6																																						
2	2	1975.29																																						
2	4	1975.29																																						
2	6	1975.29																																						
3	2	625.06																																						
3	4	625.06																																						
3	6	625.06																																						

En la Tabla XVII se evidencia el plan de programación de ruteo, donde se le asigna una ruta a un operario teniendo en consideración la distancia total recorrida por día, con el fin de que las cargas laborales sean equitativas y, también, procurando un descanso entre las rutas realizadas.

*Tabla XVII.
Programación de ruteo*

Ruta	Zona	Periodo	Operario
1	1	7 am - 9 am	4
2	1	9 am - 11 am	3
3	1	11 am - 1 pm	4
4	1	1 pm - 3 pm	1
5	1	3 pm - 5 pm	1
6	1	5 pm - 7 pm	2
7	2	9 am - 11 am	1
8	2	1 pm - 3 pm	2
9	2	5 pm - 7 pm	3
10	3	9 am - 11 am	2
11	3	1 pm - 3 pm	3
12	3	5 pm - 7 pm	4

Teniendo así que la Tabla XVIII, donde se presenta una mejor visualización de los horarios por operador y la distancia recorrida por ruta.

*Tabla XVIII.
Distancia recorrida por ruta*

Operario	Horario	Distancia
1	9 am - 11 am	1975.29
	1 pm - 3 pm	917.71
	3 pm - 5 pm	785.31
2	9 am - 11 am	625.06
	1 pm - 3 pm	1975.29
	5 pm - 7 pm	1224.6
3	9 am - 11 am	917.71
	1 pm - 3 pm	625.06
	5 pm - 7 pm	1975.29
4	11 am - 1 pm	846.63
	5 pm - 7 pm	625.06
	7 am - 9 am	785.31

VI. CONTROLAR

C. Medición de los impactos

En esta sección se debe medir el impacto del diseño, en la que se detalla la medición y análisis del impacto financiero, social, y ambiental, dentro del contexto del proyecto. Tenga en cuenta que un análisis financiero debe ser por costos y por ahorros.

Los desechos sólidos que no son debidamente contenidos y recolectados afectan la salud de la comunidad, al igual que la contaminación superficial y del aire, por esta razón, es necesario implementar una recolección de dichos residuos que se acople a la generación de estos, el plan de recolección debe de ser apropiado y eficiente, también estar sujeto a las necesidades de los Javerianos, para que así no perjudique su salubridad y pueda proporcionar un ambiente sano, libre de desechos y habitable. El nuevo plan de recolección cumple con las condiciones mínimas de los stakeholders, se adapta a generación de residuos que existe en la Universidad, además, permite la apreciación de un ambiente en donde no se ve afectada la salud pública y a su vez le da la oportunidad al campus de brindar un espacio libre de contaminación y la percepción de estar estéticamente limpio.

El inadecuado manejo de los residuos genera riesgos como alteraciones del medio antrópico, deterioro paisajístico, concepción de malos olores, proliferación de insectos y roedores, producción de enfermedades, entre otros. Cada uno de estos factores implica que se debe tener una adecuada recolección de residuos para así evitar futuras complicaciones que puedan afectar a la comunidad. Un buen manejo de los desechos no solo disminuye la probabilidad de estos riesgos, sino que permite que los residuos sean reincorporados a la cadena de reciclaje reduciendo así la contaminación y promoviendo una atmosfera más limpia.

En la Tabla XIX se realizó el presupuesto necesario para implementar el plan de ruteo propuesto, esta estimación tiene en cuenta la actualización respecto a la resolución 2184, que implica el cambio de color en los puntos ecológicos, por lo tanto, es un requisito por parte de la universidad comprar dichos contenedores para poder cumplir con la ley; sin embargo, con el fin de cumplir con la generación de residuos, se propone la compra de un tercer carro de recolección, y una ampliación en cuanto a la capacidad de algunos botes de basura pasando de 55 a 100 litros. Para determinar el precio por nodo, se multiplico el precio del contenedor según su capacidad y el número de botes de basura de cada nodo (ver anexo 19).

*Tabla XIX
Costo de puntos ecológicos y carro*

Nodo	Precio por nodo
1	\$ 154.900
2	\$ 619.600
3, 9, 11, 15 y 22	\$ 309.800
4 y 10	\$ 1.007.600
5	\$ 503.800
6 y 18	\$ 318.000
7	\$ 1.511.400
8	\$ 106.000
8, 12, 17, 19 y 21	\$ 464.700
13	\$ 774.500
	\$ 106.000
16	\$ 424.000
20	\$ 212.000
Carro	\$ 2.230.000
Total	\$ 13.165.900

Como se expresa en el párrafo anterior, estos residuos vuelvan a tener una vida útil, mediante al reciclaje y la venta de los residuos reutilizables por diferentes lo que permite obtener un dinero por el buen manejo de dichos residuos influyendo en el impacto financiero.

D. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control)

Este apartado debe asegurar que la solución propuesta corrige el problema y evita su reincidencia, ya sea por medio de un plan de control, Manual del usuario, *Balance Scorecards*, etc... en caso de que no aplique, debe sustentar por qué.

De acuerdo al análisis que se ha llevado a cabo durante el desarrollo del trabajo, se observó que las rutas de recolección son muy extensas, debido a las largas distancia entre un nodo y otro, además, se percibe que la topografía de la universidad afectaba el desplazamiento de carro recolector, que a su vez también implicaba un deterioro el estado físico del operario, por eso, se decidió dividir la recolección de residuos en tres zonas, como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, esta decisión busca eliminar los retrocesos en las rutas causados por una demanda superior a la capacidad del carro, y facilitar el desplazamiento del carro de recolección.



Fig. 14 División de zonas. Modificado de [13]

En la Fig 15 se presentan los seis diferentes trayectos que deben seguir los operarios, para así lograr un plan estandarizado de recolección para la zona 1, con el fin de mantener estos espacios limpios y seguros para la comunidad javeriana; la ruta perteneciente al periodo 1 y 5 está representada por el color rojo, la del periodo 2 y 4 con el color verde, la del periodo 3 con el amarillo y, por último, la del periodo 6 con el morado.



Fig 15 Rutas de recolección de la zona 1. Modificado de [13]

En la Fig 16 se muestran tres rutas para la zona 2 representadas solo por el color negro, debido a que las 3 rutas visitan todos los nodos en los periodos 2, 4 y 6. Para la zona 3 se tiene el color azul para las rutas del periodo 2 y 4, y amarillo para la ruta del periodo 6; se consideró la zona 3 por ser Acacias un lugar en donde se producen muchos residuos de papel y cartón por los estudiantes de Arquitectura y así poder mantener una capacidad de recolección mayor a la generación y evitar retrocesos, para identificar los nodos más adecuados para esta zona se tuvo en cuenta la experiencia de los operarios (ver anexo 15).



Fig 16 Rutas de recolección de zona 2 y zona 3. Modificado de [13]

Como se mencionó anteriormente se agruparon los puntos ecológicos en 22 nodos en el modelo diseñado, dando como resultado las rutas previamente mostradas, las rutas reales que recopilan todos los puntos ecológicos dentro del campus de la universidad javeriana se muestran en las siguientes figuras, teniendo en cuenta la división de las zonas.

En la Fig 17 se muestra las rutas de recolección por punto ecológico a realizarse en la zona 2 y zona 3

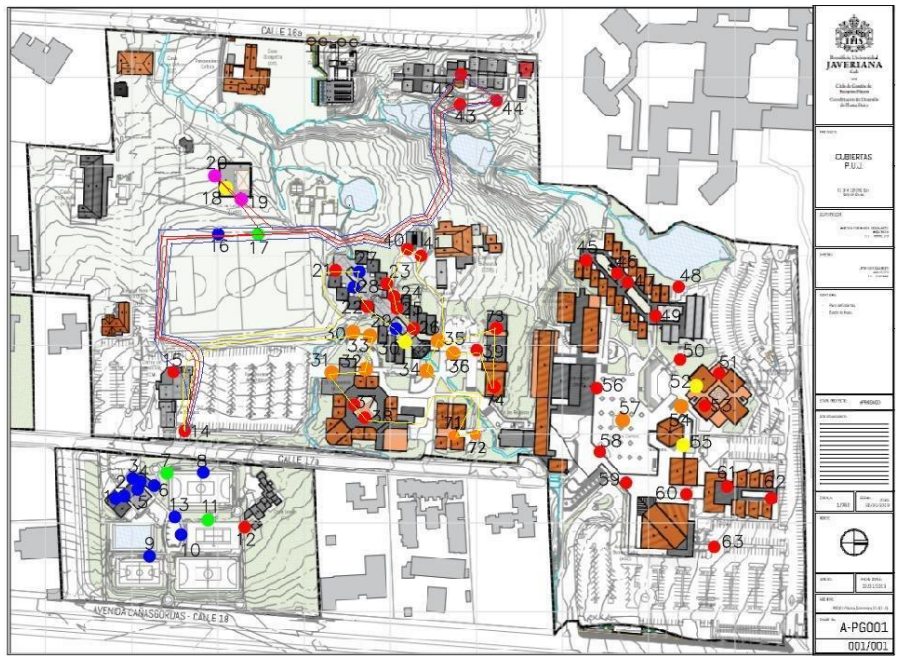


Fig 17 Rutas de recolección por puntos ecológicos de la zona 2 y 3. Modificado de [13]

En la Fig. 18 se especifica el plan a seguir por parte de los operarios, en el cual se diferencia la secuencia a seguir por el operario para la zona 1.

Realizar capacitaciones a los operarios respecto al modelo propuesto, con el fin de que entiendan por qué se realizan los cambios, y darles la información necesaria respecto los procesos que conllevan al nuevo código de color establecido, según la resolución 2184 de 2019.

Se recomienda realizar las rutas asignadas en el orden y horario establecido con el fin de mantener los espacios limpios y disponibles para la comunidad javeriana.

Se recomienda mantener los botes de basura de color verde y las mismas estructuras que sostienen los botes de basura, reduciendo los costos de compra para los nuevos puntos ecológicos.

VII. GLOSARIO

Punto ecológico: zona especial claramente demarcada y señalizada, compuesta por recipientes de diferentes colores que reemplazan las comúnmente llamadas canecas de basura; estos puntos los encontramos en las zonas comunes de instituciones educativas, empresas, centros comerciales, centros recreativos y en diferentes establecimientos culturales. Tienen como objetivo incentivar, motivar y sensibilizar a las personas a actuar responsablemente en la separación de todos los residuos sólidos que producen [22].

PGIRS: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, estipulado por la alcaldía [1].

PGIR: Plan de Gestión Integral de Residuos, estipulado por la universidad.

Puntos críticos: lugares con mayor tasa de generación de residuos

Simulación de Montecarlo: es un método estadístico, utilizado para resolver problemas matemáticos complejos a través de la generación de variables aleatorias [23].

Optimizar: es un verbo que designa la acción de buscar la mejor forma de hacer algo [24].

UCA: Unidad central de almacenamiento.

Concesionario: Los concesionarios de alimentos son empresas especializadas en la elaboración de alimentación corporativa [25].

Nodo: punto de ubicación central entre puntos ecológicos seleccionados

Macro rutas: rutas de recolección de residuos para puntos ecológicos

Código color: asignación de un color específico para cada tipo de residuo.

Retroceso: desplazamiento que hace un operario desde el lugar que se encuentra hacia la UCA para descargar los residuos del carro recolector debido a que estos han superado la capacidad de dicho carro.

VIII. REFERENCIAS

[1] Plan de gestión integral de residuos sólidos. Definición. [En línea]. Recuperado de: <https://administracionesgj.com/blog/que-es-el-pgirs>. Consultado en febrero de 2020.

[2] Registro de número de estudiantes, profesores y personal administrativo (2020). *Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance*. [En Excel]. Registro académico.

- [3] Registro de generación de residuos (2020). *Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance*. [En Excel]. Suministrado por: Margarita Jaramillo.
- [4] Norma Técnica Colombiana. GTC 24. [En Línea] Recuperado de: <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC%2024%20DE%202009.pdf>. Consultado en febrero de 2020.
- [5] Javeriana Cali en cifras 2017. Cali. [En línea]. Recuperado de : https://www.javerianacali.edu.co/sites/ujc/files/node/field-documents/field_document_file/puj_cali_en_cifras_2017_web.pdf . Consultado en febrero de 2020.
- [6] Javeriana Cali en cifras 2018. Cali. [En línea]. Recuperado de https://www.javerianacali.edu.co/sites/ujc/files/node/field-documents/field_document_file/puj_cali_en_cifras_2017_web.pdf. Consultado en febrero de 2020.
- [7] Alcaldía Santiago de Cali. Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente. [En línea] recuperado de <https://www.cali.gov.co/dagma/>. Consultado en febrero 2020.
- [8] Promoambiental Cali valle S.A. ESP, Cali. [En línea] recuperado de <http://www.promocali.com/>, consultado en febrero 2020.
- [10] Procesos ecológicos de occidente S.A.S, Arroyohondo 2015. [En línea] <http://www.procesosecologicos.com/>, consultado en febrero 2020
- [11] CVC, Relleno sanitario de Colombia el Guabal optimiza planta para tratar lixíviados. [En línea] <https://www.cvc.gov.co/carousel/3102-relleno-sanitario-de-colombia-el-guabal-optimiza-planta-para-tratar-lixiviados>, consultado en febrero 2020
- [12] Gestión ambiental, Plan de gestión integral de residuos – PGIR, octubre del 2018.
- [13] Mapa Universidad (2020). *Pontificia Universidad Javeriana Cali, sede Pance*. [En Excel]. Suministrado por: Olga Lucia Delgadillo.
- [14] Juan Antonio Araiza Aguilar y Miguel Eduardo José zambrano: “Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas SIG: un caso de estudio.” En línea: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750925005.pdf>
- [15] E. Salazar Horning y N. Ruiz Fuentealba: “Modelo ACO para la recolección de residuos por contenedores.”, Revista chilena de ingeniería, vol. 17 N° 2, 2009, pp. 236-243. En línea: https://www.researchgate.net/publication/240990005_MODELO_ACO_PARA_LA_RECOLECCION_DE_RESIDUOS_POR_CONTENEDORES
- [16] J. Arias Osorio: “Artículo de investigación científica.”, Gerencia Tecnológica Informática. | Vol. 11 | N° 29 | Ene – Abr | pp 25 – 33. En línea: <https://biblat.unam.mx/hevila/Gerenciatecnologicainformatica/2012/vol11/no29/2.pdf>
- [17] C. Zafra Mejía.: “Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: sistemas de caja fija (SCF).” REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 29 No. 2, AGOSTO DE 2009 (119-126). En línea: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v29n2/v29n2a19.pdf>
- [18] Jesús Racero Moreno, Edgar Pérez Arriaga: “Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios.” En línea: http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2006/aprov_distr_transporte/000226_final.pdf
- [19] S. Simón, J. Demaldé, J. Hernández y M. Carnero: “Optimización de Recorridos para la Recolección de Residuos Infecciosos.” Información Tecnológica Vol.23(4), 125-132 (2012). En línea: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000400014
- [20] Albert Magrina Girol, Francese Rousté Antón: “Optimización de rutas de vehículos de recogida de basuras mediante recorrido simulado.” En línea: [file:///C:/Users/DIANA%20LEDESMA/Downloads/optimizacion-de-rutas-de-vehiculos-de-recogida-de-basuras-mediante-recorrido-simulado-2%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/DIANA%20LEDESMA/Downloads/optimizacion-de-rutas-de-vehiculos-de-recogida-de-basuras-mediante-recorrido-simulado-2%20(4).pdf)
- [21] A. Ayala Rodríguez y E. Gonzáles Butrón: “Asignación de rutas de vehículos para un sistema de recolección de residuos sólidos en la acera.” Revista de ingeniería; No 13 (Año 2001). En línea: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/541>
- [22] "Cómo hacer un uso adecuado de los puntos ecológicos", Estra.com, 2020. [Online]. Available: <https://www.estra.com/blog/contenidos-blog/como-hacer-un-uso-adecuado-de-los-puntos-ecologicos/>. [Accessed: 26- Nov- 2020].
- [23] "Simulación de Montecarlo - Definición, qué es y concepto | Economipedia", Economipedia, 2020. [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/simulacion-de-montecarlo.html>. [Accessed: 30- Nov- 2020].
- [24] "Significado de Optimizar", Significados, 2020. [Online]. Available: <https://www.significados.com/optimizar/>. [Accessed: 30- Nov- 2020].

[25]"Concesionarios de alimentos ¿por qué existen? - Icor Food", Icor Food, 2020. [Online]. Available: <https://www.icorfood.com.pe/concesionarios-de-alimentos-por-que-existen/#:~:text=Los%20concesionarios%20de%20alimentos%20son,factores%20que%20justifican%20su%20existencia.> [Accessed: 30- Nov- 2020].

IX. ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (Propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTML, Excel, Word...)
1	2020109 – Anexo 1. Encuesta recopilación de requerimientos	Propio	Excel
2	2020109 – Anexo 2. Entrevista trabajadores de la UCA.	Propio	Word
3	2020109 – Anexo 3. Plan de recolección de datos	Propio	Excel
4	2020109 – Anexo 4. Registro de estudiantes, profesores y personal administrativo.	Terceros Propio	Excel
5	2020109 – Anexo 5. Registro de residuos en la Universidad desde el 2015 al 2019.	Terceros	Excel
6	2020109 – Anexo 6. Horarios de recolección de residuos.	Terceros	Excel
7	202019 – Anexo 7. Pronóstico de residuos desde febrero 2020 a enero 2021	Propio	Excel
8	2020109 – Anexo 8. Simulación de tiempos de recolección zona 1	Propio	Excel
9	2020109 – Anexo 9. Simulación de tiempos de recolección zona 2	Propio	Excel
10	2020109 – Anexo 10. Frecuencia de visitas de puntos ecológicos.	Propio	Excel
11	2020109 – Anexo 11. Encuesta trabajadores UCA.	Propio	Word
12	2020109 – Anexo 12. Informe de situación actual	Propio	Word
13	2020109 – Anexo 13. Matriz AHP	Propio	Excel
14	2020109 – Anexo 14. Revisión de literaturas	Propio	Excel
15	2020109- Anexo 15. Encuesta operador UCA	Propio	Word
16	2020109 – Anexo 16. Datos modelo.	Propio	Excel
17	2020109 – Anexo 17 Simulación tiempo rutas nuevas.	Propio	Excel
18	2020109 – Anexo 18 Análisis financiero	Propio	Excel
19	2020109 – Anexo 19 Modelo	Propio	Word