

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE
RUTAS DE RECOLECCIÓN DE BASURAS EN ECONATURAL S.A. E.S.P**

BRIGHITH LISSETH AYALA CASTELLANOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA**

2016

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE
RUTAS DE RECOLECCIÓN DE BASURAS EN ECONATURAL S.A. E.S.P**

BRIGHITH LISSETH AYALA CASTELLANOS

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Industrial

Director:

JAVIER ARIAS OSORIO

Ingeniero de sistemas

Magíster en Administración

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA**

2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, la sabiduría y la paciencia para culminar este logro.

A mis padres por todo el Esfuerzo, apoyo y comprensión ofrecidos a lo largo de toda Mi experiencia universitaria.

Al Director del proyecto Javier Eduardo Arias, por la Disponibilidad y colaboración para finalizar el proyecto de grado.

Y a todas las personas que hicieron parte del desarrollo de este gran logro.

¡MUCHAS GRACIAS!

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	20
1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	20
1.1.1 Actividad económica	20
1.1.2 Localización.	20
1.1.3 Tamaño de la empresa	21
1.1.4 Cobertura	21
1.1.5 Clientes	21
1.1.6 Vehículos	21
1.1.7 Enfoque estratégico Econatural S.A. E.S.P	22
1.1.7.1 Misión.....	22
1.1.7.2 Visión	22
1.1.8 Productos y servicios	22
1.1.9 Estructura organizativa	22
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.3 OBJETIVOS.....	25
1.3.1 Objetivo general.....	25
1.3.2 Objetivos específicos	25
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO	26
2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRANSPORTE EN ECONATURAL S.A. E.S.P (TIEMPOS DE PROCESO)	28
2.1 LUGAR DONDE GUARDAN LOS VEHÍCULOS	28
2.2 LAVADO DE VEHÍCULOS.....	28

2.3 TONELADAS PROMEDIO DE RECOLECCIÓN.....	29
2.4 KILÓMETROS RECORRIDOS EN RECOLECCIÓN	30
2.5 TOTAL DE VIAJES (RELLENO SANITARIO).....	31
2.6 TIEMPO DE PERMANENCIA EN EL RELLENO SANITARIO.....	32
3. MARCO REFERENCIAL.....	34
3.1 MARCO DE ANTECEDENTES.....	34
3.2 REVISIÓN DE LA LITERATURA	35
3.3 MARCO TEÓRICO	39
3.3.1 Logística y distribución.....	39
3.3.2 Definición del problema de optimización combinatoria	41
3.3.2.1 Programación lineal entera	42
3.3.2.2 Programación entera binaria.....	42
3.3.2.3 Software para resolver programación entera binaria PEB	42
3.3.3 Gestión de residuos	44
3.3.4 Microruteo – asignación de rutas	48
3.3.4.1 Sistema de Método de Punto Fijo o parada fija	49
3.3.4.2 Sistema de método de contenedores	50
3.3.4.3 Sistema de método en acera	51
3.3.4.4 Método intradomiciliario	52
3.3.5 Generalidades del ruteo de vehículos.....	53
3.3.5.1 Definición de un problema de ruteo de vehículos (VRP).....	53
3.3.5.2 Modelo de asignación de rutas de recolección en acera. (ARP).....	55
3.3.5.3 Comparación entre los problemas de rutificación en arcos y en nodos	57
3.3.5.4 Tour euleriano.....	58
3.3.5.5 Tour hamiltoniano	59
3.4 PROBLEMAS DE RUTAS DE VEHÍCULOS.....	60
3.4.1 El problema del viajante (TSP)	60
3.4.2 El problema gráfico (GTSP).....	60
3.4.3 Problema del cartero chino.....	61
3.4.3.1 El problema del cartero chino no dirigido CPP.....	61

3.4.3.2 El problema del cartero chino en un grafo dirigido DCPP	62
3.4.3.3 El problema del cartero chino en un grafo mixto MCPP.....	63
3.4.3.4 El problema de los m carteros (m-CPP).....	65
3.4.4 El problema del cartero rural (RPP)	65
3.4.4.1 El problema del cartero rural no dirigido (RPP).....	65
3.4.4.2 El problema del cartero rural dirigido (DRPP)	66
3.4.5 Problema de ruteo por arcos con capacidad (CARP)	67
3.5 DEFINICIÓN DEL CARP	68
3.5.1 Extensión del CARP.	72
3.5.1.1 Open Capacitated Arc Routing problem OCARP	72
3.5.1.2 Definición del OCARP	73
3.6 PROPUESTAS PARA RESOLVER CARP	74
3.6.1 Métodos exactos.....	74
3.6.1.1 Branch and bound.....	75
3.6.1.2 Branch and cut.....	76
3.6.2 Métodos heurísticos.....	76
3.6.3 Métodos metaheurísticos	77
3.7 MARCO LEGAL	78
4. APLICACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN BRACH AND BOUND A LA PROGRAMACIÓN DE RUTAS EN ECONATURAL S.A E.S.P	84
4.1 ELEMENTOS A CONSIDERAR PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RUTAS.....	84
4.1.1 Clientes.....	84
4.1.2 Fuerza laboral	88
4.1.3 Recolección de residuos sólidos.....	89
4.1.4 Recursos involucrados.....	89
4.1.4.1 Flota vehicular.....	89
4.1.5 Ubicación de calles	91
4.1.6 Mapas	91
4.1.6.1 Sentido y distancias de las vías	92
4.1.6.2 Restricciones de tránsito.....	92

4.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	94
4.2.1 Características del problema	95
4.2.2 Formulación del modelo propuesto	95
5. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL PROBLEMA DE RUTEO POR ARCOS CON CAPACIDAD CONSTANTE (CARP)	101
5.1 DISEÑO HOJA DE CÁLCULO UTILIZANDO HERRAMIENTA MICROSOFT EXCEL PREMIUM.	101
5.1.1 Datos de entrada	105
5.1.1.1 Nodos de origen y destino del Grafo.....	105
5.1.1.2 Matriz de tiempos.....	105
5.1.1.2 Matriz de demanda asociada al arco $X_{ij} Q_{ij}$	106
5.1.2 Datos de salida	107
5.2 FUNCIONALIDAD DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL USANDO EL MÉTODO EXACTO DE BRANCH AND BOUND	107
6. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS.....	109
7. CONCLUSIONES	134
8. RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	138
ANEXOS.....	143

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Algoritmos para la resolución de caminos.	47
Figura 2. Circulación en un solo sentido.	47
Figura 3. Circulación mixta	48
Figura 4. Método de Punto Fijo o parada fija.	50
Figura 5. Métodos de Contenedores fijos y Móviles.	51
Figura 6. Método en acera	52
Figura 7. Método Intradomiciliario.....	53
Figura 8. Familia VRP	54
Figura 9. Los siete puentes de KÖNIGSBERG.....	58
Figura 10. Algoritmos heurísticos en optimización combinatoria.	59
Figura 11. Variantes del CARP	72
Figura 12. Ejemplo de una instancia OCARP y una solución.	73
Figura 13. Métodos exactos.....	74
Figura 14. Métodos Heurísticos	76
Figura 15. Método Metaheurísticos. Elaboración propia	77
Figura 16. Diseño herramienta computacional.....	102
Figura 17. Conjunto de restricciones	104
Figura 18. Datos de entrada	105
Figura 19. Matriz de Tiempos	106
Figura 20. Matriz de Demanda.....	106
Figura 21. Diseño funcionalidad herramienta computacional	108
Figura 22. Diseño Sector Poblado	116
Figura 23. Diseño Sector Rincón de Girón	119
Figura 24. Diseño escenario 1 Gallineral	121

Figura 25. Diseño escenario 2 Gallineral	122
Figura 26. Diseño escenario 3 Gallineral	122
Figura 27. Diseño escenario 1 Rio de Oro	124
Figura 28. Diseño escenario 2 Rio de Oro	124
Figura 29. Diseño escenario 3 Rio de Oro	125
Figura 30. Diseño escenario 1 Santa Cruz	127
Figura 31. Diseño escenario 2 Santa Cruz	127
Figura 32. Diseño escenario 3 Santa Cruz	128
Figura 33. Diseño integrado escenario 2	131
Figura 34. Diseño ruta 5	133

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Toneladas recolectadas 1 semestre 2014.....	29
Gráfica 2. KM Recorridos 1 semestre 2014	30
Gráfica 3. Total viajes 1 semestre 2014.....	31
Gráfica 4. Tiempo prom de permanencia (Min) en el relleno sanitario.....	32
Gráfica 5. % Barrios servido Econatural	109
Gráfica 6. Tiempo actual vs escenario 1. Poblado.....	117
Gráfica 7. Tiempo actual vs escenario 1 Rincón de Girón	120
Gráfica 8. Tiempos actual vs escenarios Gallineral	123
Gráfica 9. Tiempos actual vs escenarios Rio de Oro	125
Gráfica 10. Tiempos actual vs escenarios Santa Cruz	128

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla de cumplimiento de objetivos	19
Tabla 2. Toneladas recolectadas 1 semestre 2014	29
Tabla 3. Kilómetros recorridos en recolección:	30
Tabla 4. Total de viajes (relleno sanitario)	31
Tabla 5. Tiempo de permanencia en el relleno sanitario	32
Tabla 6. Algunos problemas conocidos de rutificación en arcos.....	57
Tabla 7. Usuarios actuales de Econatural S.A E.S.P.....	85
Tabla 8. Recurso humano.....	88
Tabla 9. Índices y variable CARP	96
Tabla 10. Parámetros CARP.....	97
Tabla 11. Sectores excluidos	110
Tabla 12. Sectores sin modificación de ruta	111
Tabla 13. Caracterización ruta 1	112
Tabla 14. Caracterización ruta 2	112
Tabla 15. Caracterización ruta 4.....	113
Tabla 16. Caracterización ruta 5.....	113
Tabla 17. Barrios experimentación 2	114
Tabla 18. Frecuencia de recolección	114
Tabla 19. Ruta actual vs escenario 1. Poblado.....	115
Tabla 20. Caracterización Poblado	117
Tabla 21. Secuencia sector Poblado	118
Tabla 22. Ruta actual vs escenario 1. Rincón de Girón	118
Tabla 23. Secuencia sector Rincón de Girón.....	120
Tabla 24. Caracterización Rincón de Girón	120

Tabla 25. Ruta actual vs escenarios Gallineral	121
Tabla 26. Caracterización Gallineral	123
Tabla 27. Secuencia sector Gallineral	123
Tabla 28. Ruta actual vs escenarios Rio de Oro.....	124
Tabla 29. Caracterización Rio de Oro.....	126
Tabla 30. Secuencia sector Rio de Oro	126
Tabla 31. Ruta actual vs escenarios Santa Cruz	126
Tabla 32. Caracterización Santa Cruz	129
Tabla 33. Secuencia sector Santa Cruz.....	129
Tabla 34. Integrado de sectores de los diferentes escenarios	130

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Portafolio de servicios Econatural S.A E.S.P.	143
ANEXO B. Estructura organizacional de Econatural s.a e.s.p	144
ANEXO C. Cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos en el Municipio de Girón.	145
ANEXO D. Diagrama Ishikawa	147
ANEXO E. Proceso de recolección de residuos sólidos Urbanos.....	148
ANEXO F. Tarifas del servicio de Recolección de residuos sólidos Econatural S.A E.S.P.....	151
ANEXO G. Rutas de recolección ECONATURAL S.A E.SP	152
ANEXO H. Decreto 2981 de 2013	156
ANEXO I. Diseño de asignación de rutas de recolección de residuos solidos.....	201

RESUMEN

TITULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE BASURAS EN ECONATURAL S.A. E.S.P”^{*}

AUTOR: AYALA CASTELLANOS, Brighith Lisseth^{**}

PALABRAS CLAVE: ARP, CARP, OCARP. Branch and Bound

DESCRIPCIÓN

El incremento de las grandes industrias y el aumento en la población, ha generado que el problema de recolección de residuos urbanos sea tratado con mayor importancia y complejidad en los últimos años, pensando siempre en mitigar el impacto ambiental y preservar la salubridad de la comunidad; lo que despierta el interés por indagar el mundo de la investigación de las operaciones, en especial la diversidad de técnicas aplicadas a la optimización de transporte.

La empresa Econatural S.A E.S.P presta el servicio de recolección de basuras, se construye un diseño de rutas empleando una herramienta computacional para optimizar el tiempo de ruta del programa de recolección.

Se inicia con un previo diagnóstico para conocer las operaciones del proceso de recolección, seguido de la indagación de la revisión de la literatura sobre la problemática abordar y sus posibles soluciones, para seleccionar el modelamiento apropiado según las características de la empresa.

El problema se modela como programación lineal entera, bajo la problemática de ruteo de arcos capacitados CARP, en su extensión OCARP, que consiste en un vehículo con capacidad homogénea debe visitar un conjunto de calles al menos una vez, definiendo los puntos de entrada y salida que mejor se ajuste a la ruta minimizando el tiempo de recolección. Para su solución se empleó la herramienta computacional de Excel y su complemento Solver Premium y su algoritmo exacto Branch and Bound, definiendo escenarios de nodos de entrada y salida, teniendo en cuenta parámetros de cercanía a vías para posteriormente realizar las conexiones de ciertos barrios aledaños.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Javier Arias Osorio, Ingeniero de sistemas, Magíster en Administración

ABSTRACT

TITLE: "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MODEL FOR THE ALLOCATION OF WASTE COLLECTION ROUTES IN ECONATURAL S.A. E.S.P"^{*}

AUTHOR: AYALA CASTELLANOS, Brighith Lisseth ^{**}

KEYWORDS: ARP, CARP, OCARP. Branch and Bound

DESCRIPTION

The increase in major industries and the increase in population, has meant that the problem of urban waste collection be treated with great importance and complexity in the last years, always thinking to mitigate the environmental impact and to preserve the health of the community; which arouses the interest in investigating the world of operations research, especially the diversity of techniques applied to optimize transport.

The Econatural S.A E.S.P Company provides the service for garbage collection, and a route design is constructed using a computational tool to optimize the route time of the collection program.

It begins with a previous diagnosis to know the operations of the collection process, followed by the investigation of the review of the literature in addressing the problems and possible solutions, to select the appropriate modeling according to the characteristics of the company.

The problem is modeled as an integer linear programming under the Capacitated Arc Routing Problem CARP, in its OCARP extension, consisting of a vehicle with the homogeneous ability to visit a set of streets at least once, defining the points of entry and exit that best fits the route minimizing the time of collection. For its solution it was used the computational tool Excel and its complement Solver Premium as well its exact Branch and Bound algorithm, defining scenarios of input nodes and outputs, taking into account parameters of proximity to roads to subsequently undertake the connections to certain surrounding neighborhoods.

* Graduation project

** Faculty of Mechanical Engineering and Physical. School of Industrial and Business Studies. Director: Javier Arias Osorio, Systems Engineer, Master in Management

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el tema de manejo de residuos sólidos ha tomado gran relevancia por el aumento de la densidad de la población, aspecto que genera incremento en el volumen de Residuos sólidos y aumento en las actividades diarias de las pequeñas, medianas y grandes empresas encargadas de la recolección. En Colombia la ley 142 de 1994 establece el régimen general de los servicios públicos domiciliarios incluido el servicio público de aseo¹, el cual menciona que este servicio deberá prestarse en todas sus actividades con calidad y continuidad con el fin de mantener las áreas limpias y lograr el aprovechamiento de residuos, cuya finalidad minimizar y mitigar el impacto en la salud y en el ambiente.

Las actividades que incluyen la prestación del servicio público comprende la recolección, transporte, barrido, limpieza de vías y áreas públicas, corte de césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas, transferencia, tratamiento, aprovechamiento, disposición final, y lavado de áreas públicas.

El presente trabajo se enmarca geográficamente en el estudio de dicho tema para el municipio de Girón. Según el plan de desarrollo 2012-2015² este servicio es prestado por Econatural S.A E.S.P y por su competencia de la localidad Caralimpia S.A E.S.P. a nivel rural, urbano, y zonas industriales; La cobertura en el servicio de recolección de residuos sólidos en el municipio es del 77.6% del total de las unidades de vivienda, en las zonas urbanas la cobertura es del 90.7% del total de la unidades de vivienda, mientras que en los pequeños centros poblados y zonas rurales es tan sólo del 4.28% del total de las unidades de vivienda.

¹ DECRETO 2981. [en línea] Disponible en: www.andi.com.co/Archivos/file/.../2014/DECRETO2981residuos.pdf

² PLAN DE DESARROLLO 2012-2015, Alcaldía San Juan de Girón. [en línea] Disponible en: <http://www.giron-santander.gov.co/apc-aa> . 58 p

Para la empresa Econatural S.A. E.S.P, en su enfoque de crecimiento y mejora de su competitividad, considera evidente la necesidad de un ordenamiento de rutas diseñando e implementando una mejora; cuyo objetivo es la reducción en el tiempo de viaje, los costos, distancias recorridas, contribuyendo a la satisfacción de los clientes.

Para abordar la problemática se iniciará con la identificación de los factores relevantes del problema de ruteo por arcos con capacidad; además con un estudio de las diferentes formas de modelar el problema y los métodos de solución conocidos para problema de ruteo por arcos (ARP, por su sigla en inglés), se analizarán la mejor forma de tratar el tema abordado Y para brindar la solución, se hará uso de un software en el diseño de recolección de ruta, donde se modelará y resolverá el mismo, contribuyendo a la mejora de metas y objetivos de la empresa.

Tabla 1. Tabla de cumplimiento de objetivos

OBJETIVO	DESCRIPCIÓN	CUMPLIMIENTO
1	Realizar un diagnóstico y recopilar la información del proceso de transporte.	CAPITULO 1. Generalidades del proyecto
2	Revisión de la literatura sobre el modelamiento del proceso.	CAPITULO 2. Marco referencial
3	Analizar y determinar los parámetros, variables y restricciones que deben considerarse para la asignación de rutas.	CAPITULO 3. aplicación del modelo de optimización CARP a la programación de rutas en Econatural S.A. E.S.P
4	Diseñar e implementar una herramienta informática basado en el modelo propuesto para el diseño de rutas.	CAPITULO 4. Herramienta computacional, para el problema de ruteo por arcos con capacidad constante (CARP)
5	Evaluar los resultados de la implementación.	CAPITULO 5. Experimentación y resultados

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1.1 Actividad económica. Econatural S.A. E.S.P es una empresa que se dedica a la recolección, transporte y disposición de residuos sólidos, barrido y limpieza manual de áreas públicas. Por otra parte presta servicios especiales de recolección de podas y escombros inservibles ³ ANEXO A. Portafolio de servicios Econatural S.A. E.S.P, cubriendo en la mayor parte el servicio del municipio de Girón. En el plan de gestión integral de residuos sólidos, proyecto que se ha venido desarrollando con el área metropolitana de Bucaramanga y la Universidad industrial de Santander donde uno de sus objetivos es garantizar la eficiencia y la eficacia en la prestación del servicio público del área metropolitana de Bucaramanga, y sus municipios Piedecuesta, Girón, Floridablanca y cuyo propósito es controlar la competencia desleal y controlar el servicio de los operadores.

1.1.2 Localización. Econatural S.A. E.S.P cuenta con oficinas administrativas ubicada en el barrio Villa Campestre del municipio de Girón (Santander) donde se lleva a cabo gran parte de los procesos administrativos y operativos garantizando el funcionamiento a nivel organizacional.

DIRECCIÓN	Calle 25 No. 21B- 76
BARRIO	Villa Campestre
CIUDAD	Girón
TELÉFONO	6811243

³ DECRETO 2981. [en línea] Disponible en_ www.andi.com.co/Archivos/file/.../2014/DECRETO2981residuos.pdf

La sede operativa inicia y finaliza labores en la base ubicada entre la vía café Madrid y anillo vial llamada “móvil bascula”; además es este el lugar donde reposan los vehículos compactadores de residuos sólidos urbanos.

1.1.3 Tamaño de la empresa. Actualmente cuenta con 15 operarios de barrido de vías públicas, 8 operarios de recolección de residuos sólidos, 2 conductores, 1 supervisor, 1 auxiliar de PQR y la alta gerencia; para un total de 21 personas que conforman el equipo de operaciones de la empresa. **Anexo B.** Estructura organizacional de Econatural S.A. E.S.P

1.1.4 Cobertura. Econatural S.A. E.S.P tiene una cobertura amplia en el municipio de Girón, prestando el servicio a 46 barrios con 12147 usuarios en toda el área del municipio que se ven beneficiados por la calidad y compromiso del bien intangible prestado.

1.1.5 Clientes. Econatural S.A. E.S.P tiene segmentado a los clientes de acuerdo a parámetros internos como según estrato, según naturaleza jurídica. **Anexo C.** Cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos en el Municipio de Girón.

1.1.6 Vehículos. La empresa cuenta con una flota vehicular homogénea con capacidad de 13 Toneladas. El vehículo compactador es clasificado de carga trasera; en estos tipos de vehículos la carga de residuos se hace a través de una tolva en la parte trasera de la carrocería, sus principales ventajas: la altura de carga es baja lo que hace que el operario haga un esfuerzo menor en el descargue de bolsas o cajas.

1.1.7 Enfoque estratégico Econatural S.A. E.S.P

1.1.7.1 Misión: ECONATURAL S.A. E.S.P es una empresa privada dedicada a la prestación de servicio público de aseo, cuenta con un personal capacitado y eficiente para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Brindando un trabajo con eficiencia, ética y responsabilidad social, cumpliendo con la calidad del servicio y la normatividad vigente.

1.1.7.2 Visión: ECONATURAL S.A. E.S.P Será líder a nivel local, regional, nacional en la prestación del servicio público de aseo y complementarios; proyectándose en el año 2018 con el 70% de usuarios del total de la población del municipio de Girón; incorporando innovación a nivel tecnológico, ambiental, económico y social, con un equipo humano comprometido, brindando un servicio con alta calidad, respetuoso con el medio ambiente y con responsabilidad social; pensando siempre en satisfacer las necesidades de la población estableciendo tarifas razonables.

1.1.8 Productos y servicios. Econatural S.A. E.S.P se dedica a la recolección, transporte y disposición de residuos sólidos, barrido y limpieza manual de áreas públicas. Por otra parte, presta servicios especiales de recolección de podas y escombros inservibles.

1.1.9 Estructura organizativa. ECONATURAL S.A. E.S.P Posee los siguientes órganos de administración:

* ASAMBLEA GENERAL: Las funciones de la Asamblea general se rigen bajo el artículo 420 del código de comercio que se describen a continuación y está conformada por los socios de la entidad (junta directiva) con un capital aportado por los accionistas de \$1.500.000.000.

1. Disponer qué reservas deben hacerse además de las legales;
2. Fijar el monto del dividendo, así como la forma y plazos en que se pagará;
3. ordenar las acciones que correspondan contra los administradores, funcionarios directivos o el revisor fiscal;
4. Elegir y remover libremente a los funcionarios cuya designación le corresponda.
5. Disponer que determinada emisión de acciones ordinarias sea colocada sin sujeción al derecho de preferencia, para lo cual se requerirá el voto favorable de no menos del setenta por ciento de las acciones presentes en la reunión.
6. Adoptar las medidas que exigiere el interés de la sociedad.
7. Las demás que le señalen la ley o los estatutos, y las que no correspondan a otro órgano.

Sus integrantes son los siguientes:

* JUNTA DIRECTIVA. Entre las funciones de la junta Directiva se identifican, el nombramiento de gerente, crear los empleos necesarios para el funcionamiento y servicio de la empresa, señalando y asignando las funciones de los cargos y fijar las remuneraciones; además convocar a la asamblea general a las respectivas reuniones ordinarias. Las personas que la conforman son las siguientes:

* REVISOR FISCAL. Las funciones que desempeña el revisor fiscal son las contempladas en artículo 207 del código de comercio de carácter general sumando otras responsabilidades a nivel civil, penal, administrativo, disciplinario; regido por la ley 222 de 1995.

* CONTROL INTERNO: Su función es Controlar y vigilar las diferentes dependencias de Econatural S.A. E.S.P con el fin de que operen correctamente.

* GERENTE GENERAL El gerente es el representante legal de Econatural S.A. E.S.P y entre sus funciones está la dirección y la administración de los negocios sociales y velar por el cumplimiento de todos los requisitos legales que afecten los negocios y operaciones de ésta.

* COORDINADOR OPERATIVO Y COMERCIAL

SUPERVISOR OPERATIVO. El supervisor controla, dirige las operaciones de barrido y recolección de Econatural S.A. E.S.P y vela por el cumplimiento de éstas.

ASESORA COMERCIAL. Asesora e informa a los usuarios acerca del servicio: beneficios, condiciones y tarifas que ofrece Econatural S.A. E.S.P; donde el objetivo final es el reclutamiento de clientes del municipio de Girón.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

ECONATURAL S.A. E.S.P es una empresa que lleva seis años prestando servicios para la recolección de residuos sólidos, barrido de vías públicas y servicios especiales como poda y escombros inservibles; actualmente cuenta con un sistema de asignación de rutas manual, ajustado a variables de distancias, acceso a la vías, disponibilidad de basuras en la acera. Las herramientas de análisis de datos del pre-diagnóstico, **VER ANEXO D**, evidencia resultados de problemas tanto administrativos (gestión en la organización de rutas) como operativos (operarios y vehículos). Evidenciando desorganización en la planeación de rutas e incumplimiento de éstas.

Por lo anterior se crea la necesidad de realizar mejoras en el sistema de recolección de residuos sólidos, diseñando e implementando un modelo para la asignación de rutas para la recolección de basuras, cuyo objetivo es la optimización de las rutas reduciendo costos/distancias y de esta manera satisfacer las necesidades de los usuarios con continuidad y cobertura; que por ende permite la minimización y mitigación del impacto en el medio ambiente y en la salud causada por la generación de residuos sólidos.

El abordar el problema planteado permitirá lograr en el año 2018 el cubrimiento de cerca del 100% de usuarios de la población en zona urbana del municipio de Girón; brindando un servicio efectivo y agregando valor a nivel tecnológico, ambiental, económico y social.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Diseñar e implementar un modelo para la asignación de rutas para la recolección de basuras en Econatural S.A. E.S.P

1.3.2 Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico actual y recopilar la información del proceso de transporte.
2. Revisión de la literatura sobre el modelamiento del proceso.
3. Analizar y determinar los parámetros, variables y restricciones que deben considerarse para la asignación de rutas.
4. Diseñar un modelo de ruteo que permita la recolección de basuras, mejorando los indicadores de gestión de la empresa.

5. Diseñar e implementar una herramienta informática basado en el modelo propuesto para el diseño de rutas.
6. Evaluar los resultados de la implementación.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

De acuerdo a la revisión de la literatura el proyecto en primera instancia se modela como un problema de enrutamiento por arcos con capacidad (CARP, por su sigla en inglés), grafo dirigido, completo, simétrico. En su análisis se encuentran diversos algoritmos exactos, heurísticos y metaheurísticos; y soluciones de optimización de rutas que resuelve problemas de entrega de correspondencia, recolección de basuras entre otras. La propuesta de diseño y asignación de rutas de recolección de basuras se basa en problemas de optimización combinatoria de programación lineal entera, utilizando el concepto de recolección en acera.

Una vez definido el modelo al problema de recolección de basura en Girón, se considera a desarrollar en dos Experimentaciones, una primera que es realizar el ruteo por barrio (lo que se denomina en el documento Microruteo, y se realiza para reducir la complejidad del problema) y una segunda Experimentación es la solución del problema de ruteo para cada barrio considerando el problema como un CARP abierto (OCARP, por su sigla en inglés) pues la entrada al barrio no es necesariamente el mismo punto por donde se sale de él, con grafo dirigido y asimétrico (por el sentido de las calles), e incompleto (porque no existen arcos para conectar todas las esquinas del barrio). E incluso al final de esta segunda fase se analiza la mejor forma de conectar los microruteos para mantener los criterios inicialmente definidos.

Para construir el modelo matemático se hizo un diagnóstico de la empresa para conocer todos los procesos asociados a la recolección de residuos sólidos urbanos y observar qué requerimientos hay para suplir tal como se muestra en el **Anexo E**. Proceso de recolección de residuos sólidos Urbanos.

En este contexto se describen las variables a considerar y sus posibles restricciones, para seleccionar el modelo matemático de enrutamiento de vehículos que se pueda ajustar el problema actual de la empresa.

Cabe mencionar que aparte de diseñar un modelo matemático acorde a las necesidades de la asignación de rutas también hay una herramienta computacional que para efectos del proyecto se seleccionó la plataforma de Microsoft Excel con macros, por su aplicabilidad y fácil uso en el ámbito empresarial.

2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE TRANSPORTE EN ECONATURAL S.A. E.S.P (TIEMPOS DE PROCESO)

Previamente se realiza un diagnóstico para conocer detalladamente como se encuentra la empresa en el tema del transporte, validando información como los criterios de asignación actualmente de rutas, el kilometraje recorrido mensual por los tres vehículos, el tonelaje promedio de basura, la hora de iniciación y finalización de la operación, y otros aspectos que son necesarios con el fin de identificar los posibles problemas y las causas que lo generan. La metodología utilizada para este diagnóstico fue una serie de reuniones con los encargados de la operatividad del servicio de recolección de residuos sólidos, la gerencia para obtener la información necesaria y el acompañamiento de las rutas de recolección, para poder deducir las respectivas conclusiones y dar solución a los problemas identificados.

2.1 LUGAR DONDE GUARDAN LOS VEHÍCULOS

Finalizada la operación se trasladan a una base ubicada entre la vía café Madrid y anillo vial llamada “móvil bascula”, donde reposan hasta al otro día para de nuevo iniciar las operaciones.

2.2 LAVADO DE VEHÍCULOS

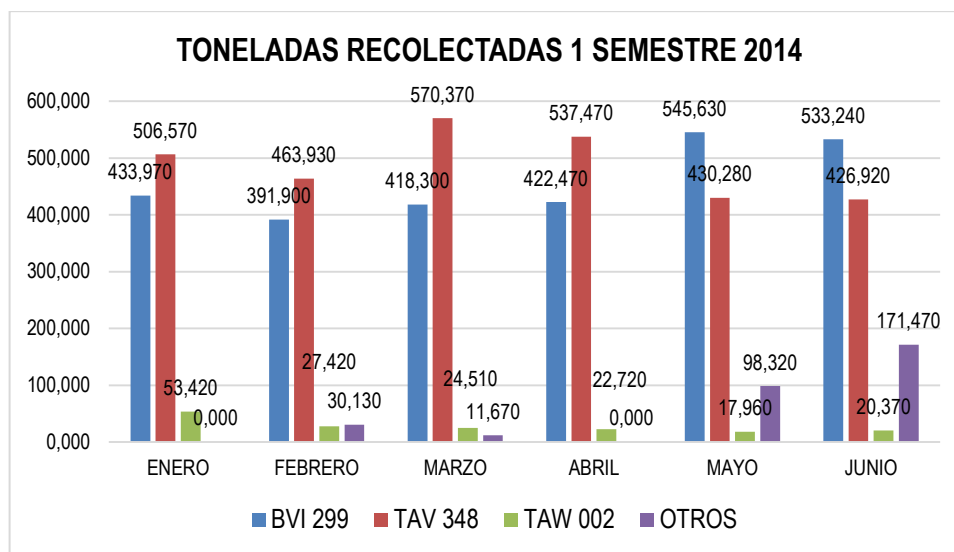
Se procede al lavado una vez finalizada la operación en la estación del palenque aprox. 1 km partiendo de la base.

2.3 TONELADAS PROMEDIO DE RECOLECCIÓN

Tabla 2. Toneladas recolectadas 1 semestre 2014

	BVI 299	TAV 348	TAW 002	OTROS
ENERO	433,970	506,570	53,420	0,000
FEBRERO	391,900	463,930	27,420	30,130
MARZO	418,300	570,370	24,510	11,670
ABRIL	422,470	537,470	22,720	0,000
MAYO	545,630	430,280	17,960	98,320
JUNIO	533,240	426,920	20,370	171,470
Total	2.745,510	2.935,540	166	311,59

Gráfica 1. Toneladas recolectadas 1 semestre 2014



La capacidad de los compactadores es de 13 Tn, en algunas ocasiones sobrepasan la capacidad debido a que cuando se ausenta por algunas horas algún vehículo el otro lo reemplaza generando una sobrecarga; el vehículo

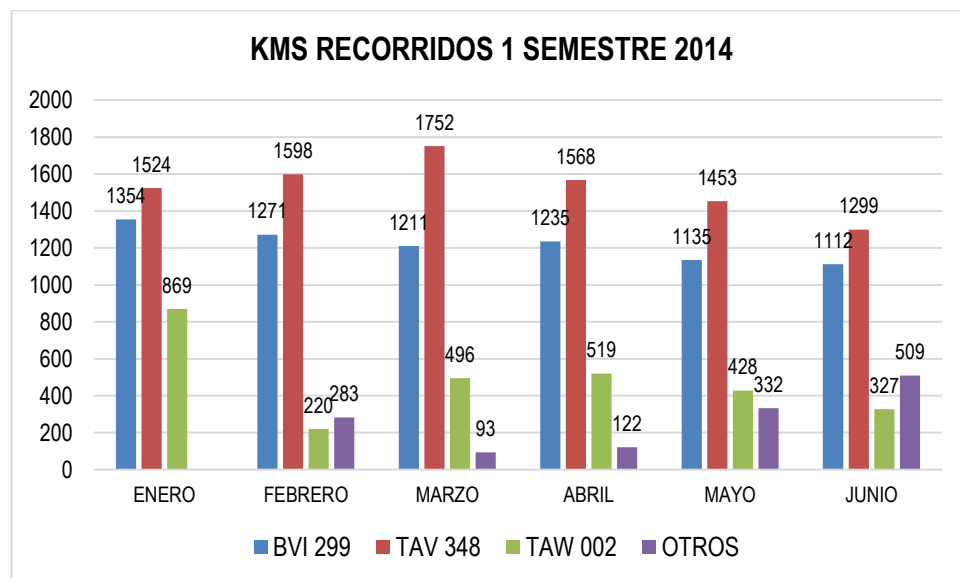
TAV348 es el que tiene la ruta más larga por tanto las toneladas recogidas son superiores al resto de la flota de transporte.

2.4 KILÓMETROS RECORRIDOS EN RECOLECCIÓN

Tabla 3. Kilómetros recorridos en recolección:

	BVI 299	TAV 348	TAW 002	OTROS
ENERO	1354	1524	869	
FEBRERO	1271	1598	220	283
MARZO	1211	1752	496	93
ABRIL	1235	1568	519	122
MAYO	1135	1453	428	332
JUNIO	1112	1299	327	509
Total	7318	9194	2859	1339

Gráfica 2. KM Recorridos 1 semestre 2014



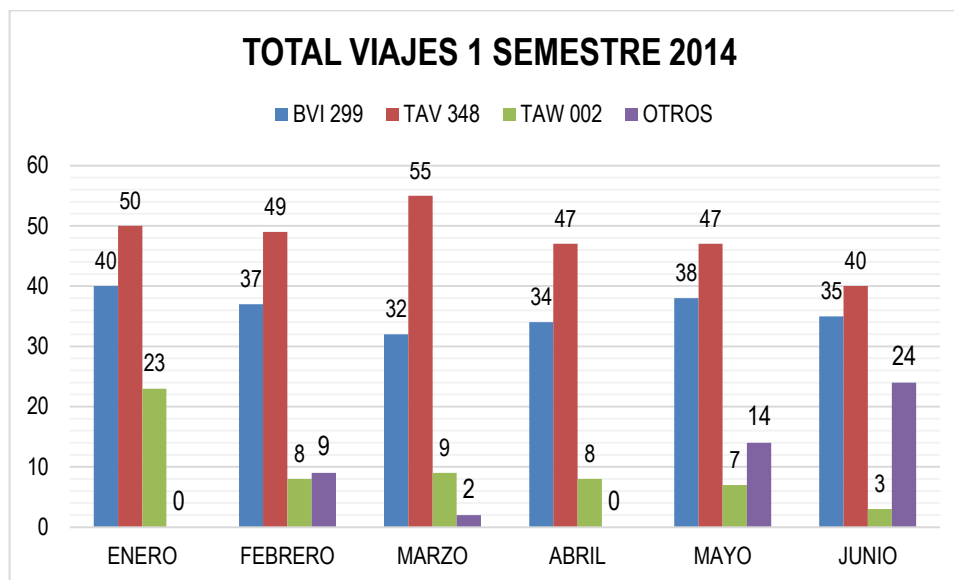
En el mes de junio el vehículo BVI 299 se ausentó 8 días de la operación debido a fallas mecánicas lo que refleja un descenso en el kilometraje recorrido; y por consiguiente se prestaron otros vehículos para que cubriera las rutas.

2.5 TOTAL DE VIAJES (RELLENO SANITARIO)

Tabla 4. Total de viajes (relleno sanitario)

	BVI 299	TAV 348	TAW 002	OTROS
ENERO	40	50	23	
FEBRERO	37	49	8	9
MARZO	32	55	9	2
ABRIL	34	47	8	
MAYO	38	47	7	14
JUNIO	35	40	3	24
total	216	288	58	49

Gráfica 3. Total viajes 1 semestre 2014



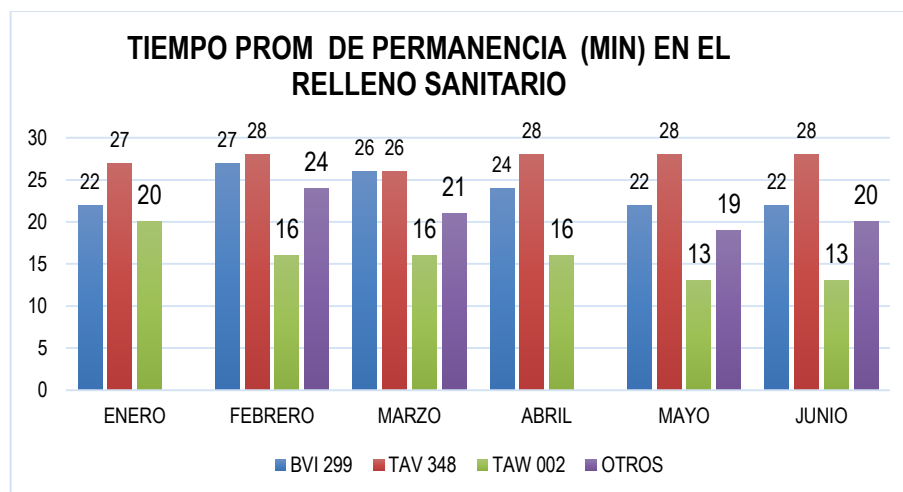
El vehículo TAW002 el lugar de disposición en algunos casos varía ya que éste es el asignado para realizar los servicios especiales; y el ingreso depende de que material inservible recoja. En el caso de los escombros está prohibido disponer en el relleno sanitario; además cabe resaltar que este vehículo no posee ruta fija, por tanto la variabilidad en los viajes realizados en las toneladas recolectadas y en el kilometraje recorrido es alta.

2.6 TIEMPO DE PERMANENCIA EN EL RELLENO SANITARIO

Tabla 5. Tiempo de permanencia en el relleno sanitario

	BVI 299	TAV 348	TAW 002	OTROS
ENERO	22	27	20	
FEBRERO	27	28	16	24
MARZO	26	26	16	21
ABRIL	24	28	16	
MAYO	22	28	13	19
JUNIO	22	28	13	20
total	143	165	94	84

Gráfica 4. Tiempo prom de permanencia (Min) en el relleno sanitario



Los tiempos de viaje de permanencia en el relleno sanitario, depende del conductor, de su experiencia, de la velocidad que lleve y de otras variables como el tonelaje; es decir a mayor cantidad de residuos sólidos mayor es la demora en el sitio de disposición.

En el relleno sanitario se descarga además de los residuos sólidos y reciclaje, los líquidos lixiviados.*

Los GPI (grandes productores industriales) son lo que generan en mayor cantidad residuos sólidos. Seguido de los PPO (Pequeños productores oficiales) y PPC (pequeños productores comerciales), los estratos 1, 2, 3, 4; tienen la tendencia más baja en la generación de basuras.

* Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 MARCO DE ANTECEDENTES

Según Guevara Johan y Vargas Adriana⁴ en su trabajo “Diseño e implementación de rutas de recolección de residuos hospitalarios en la empresa Edepsa” esta investigación fue la base preliminar para la iniciación del plan del proyecto ilustrando como se estructura el proyecto de asignación de rutas; aunque solo se logró observar el plan de proyecto ya que la oficina de Alianza sólo permite revisiones de planes y no de proyectos de grado. Corberán Ángel⁵ desarrolló un proyecto como tesis doctoral “algunos problemas de rutas por arcos” cuyo trabajo hace referencia a la descripción y solución de los diversos problemas de ruteo por arcos y/o aristas presentando dicha solución por medio de algoritmos de separación, algoritmos de ramificación y acotación, algoritmos de ramificación y corte extrayendo cierta información para construir el marco teórico.

Por otro lado Granados Diana⁶ en su trabajo “Diseño e implementación de un modelo para la asignación de rutas escolares en la cooperativa Multiactiva Claveriana Ltda., Comulclaver” donde presenta el análisis de la empresa dedicada a la recolección de pasajeros en el área metropolitana y su respectiva implementación, teniendo en cuenta que es un problema de ruteo por vértices Y no por arcos y/o aristas, los primeros tres capítulos hace referencia a la descripción de la empresa, el cuarto capítulo se evidencia el diagnóstico de la

⁴ GUEVARA, Johan; VARGAS Adriana. Diseño e implementación de rutas de recolección de residuos hospitalarios en la empresa Edepsa. Trabajo de grado. Universidad industrial de Santander. Escuela de estudios industriales y empresariales. 2014

⁵ SALVADOR, Ángel; ANDANI, Isaac; LLOPIS, José. Algunos problemas de rutas por arcos. Tesis Doctoral. España. Universidad de Valencia, 2014.

⁶ GRANADOS, Diana. Diseño e implementación de un modelo para la asignación de rutas escolares en la cooperativa Multiactiva Claveriana Ltda., Comulclaver. Trabajo de grado. Universidad industrial de Santander. Escuela de estudios industriales y empresariales, 2011.

cooperativa con su respectivo análisis, el quinto capítulo presenta el diseño del modelo de asignación y por último el sexto capítulo se implementa el modelo con su herramienta informática como Excel, y herramienta de Arcview y mapas digitales; aunque no tiene la misma solución algorítmica con el proyecto a realizar, ilustra la parte conceptual de VRP para conocer la diferencia entre un modelo VRP Y un modelo ARP; además la estructura del proyecto y una guía para realizar parte del diagnóstico. Fue difícil encontrar información de proyectos de grados alusivos al tema debido a la ausencia de proyectos ARP, ya que sólo se encontraban asignación de rutas por nodos.

3.2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Según Ayala y González⁷ en su artículo Asignación de rutas de vehículos para un sistema de residuos sólidos en la acera puede considerarse como una variante del CPP (Chinese Postman Problem), problema del cartero chino, que indican que todas las calles de una red mixta deben ser recorridos al menos una vez, y se debe tener en cuenta cierta información de entrada, variables como: configuración de la red, tiempos de procesos, disponibilidad de la tripulación, disponibilidad del vehículo, la estimación de la demanda y los costos generados del proceso de recolección de residuos sólidos. El modelo ARV fue implementado por primera vez en la Ciudad de Bogotá con el fin de encontrar la óptima solución para el sistema de recolección, se obtuvo dos comparaciones una ruta generada por el SIG (sistema de información geográfica) y la ruta que utilizada por la empresa; el modelo de asignación de rutas (ARV), permite la posibilidad de trabajar con dos variables enteras con el fin de modificar cambios en la función objetivo, y las restricciones, adicionalmente permite la elaboración y la trazabilidad de la ruta

⁷ AYALA & GONZÁLES. Asignación de rutas de vehículos para un sistema de residuos sólidos en la acera. Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 5–11. 2001

para cada vehículo respecto a distancia recorrida, permanencia en la red, la tasa de utilización del vehículo recolector y el tiempo empleado por la tripulación de la operación; se concluye que el modelo ARV proporciona un mejor ruta en comparación a la generada por la empresa y a la planteada por el SIG, obteniendo una ruta con menor longitud en un tiempo considerable; se emplea un algoritmo de secuenciamiento que minimiza los giros prohibidos.

Por otra parte Amponsah & Salhi (2004)⁸ en su artículo de investigación de una clase de problemas de ruteo por arcos capacitados, concluye que la recogida de basura en los países desarrollados el costo de transporte, recolección y disposición de residuos es elevado y recibe poca atención. Se aplica una heurística constructiva que además de tener en cuenta la asignación de rutas, también incluye el aspecto medioambiental; en cuanto los resultados se probaron con y sin la presencia del aspecto medioambiental y se alcanzaron buenos resultados, se considera que los sectores a recorrer ya están determinados por la autoridad competente. La finalidad con la heurística es lograr resultados óptimos en el diseño de rutas teniendo en cuenta el medio ambiente y conservando la salubridad pública que se logra en construir rutas a lo largo del segmento de la calle con la carga máxima en cada unión del proceso de recolección basado en el modelo bi-objetivo, minimización de costos y el efecto del medio ambiente; computacionalmente se ha demostrado que la heurística es eficiente y genera diversidad de soluciones.

Lit et al. (2006)⁹ con el trabajo de programación de camiones para la recolección de residuos en la ciudad de Porto Alegre en Brasil, el problema asumido consiste en generar buenos horarios diarios, sobre un conjunto de viajes de recolección anteriormente definidos, estos procesos son gestionados por cooperativas que no forman parte de la labor formal, el problema se modeló como un caso especial de

⁸ AMPONSAH, S. SALHI. The investigation of a class of capacitated arc routing problems: the collection of garbage in developing countries. 2004

⁹ LI et al. Truck scheduling for solid waste collection in the City of Porto Alegre, Brazil. 2006

problema de programación de un solo depósito polinómicamente solucionable, y lo deseable es obtener resultados con asignaciones equilibradas de viajes de recolección que permitan descargar los camiones en las instalaciones de reciclaje; además se considera que es un problema NP-hard; el enfoque heurístico que utiliza un algoritmo de subasta y un método dinámico con resultados que reducen los costos totales y equilibra el número de viajes asignados a cada instalación de reciclaje. El departamento municipal de limpieza urbana de Porto Alegre, cuenta con un presupuesto anual de 4 millones de dólares, el objetivo primordial de este trabajo es analizar la planificación operativa semanal de recolección de residuos sólidos en Porto Alegre. El problema se modela como un problema de flujo de costo mínimo y se resuelve utilizando CPLEX. Los resultados demuestran que el rendimiento en comparación con la planificación manual, el ahorro del número de vehículos fue de 25,24%, en cuanto a los costos totales el ahorro fue aproximadamente de 25,61%.

Según Bandala & Osorio, (2012)¹⁰, en su trabajo “análisis del sistema de recolección de desechos en la zona urbana del municipio de San Pedro Cholula en México, utilizan un modelo de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP), El modelo es una adaptación del CVRP que incluye la visita al relleno sanitario para arrojar los residuos y dirigirse al depósito para terminar la ruta; para llevar a cabo una recolección ordenada y sistemática se crea una metodología incluyendo herramientas como base de datos, teoría de grafos, y CVRP, para el modelo propuesto se tienen en cuenta aspectos como localización geográfica, la forma de operar en el proceso de recolección de residuos sólidos (acceso a las vías, tráfico vehicular) la demanda de residuos calculados por zona, capacidad del vehículo, distancias recorridas, frecuencia de recolección.

¹⁰ BANDALA & OSORIO. Análisis del sistema de recolección de basura en la zona urbana del municipio de San Pedro Cholula mediante la aplicación de un modelo de Ruteo de Vehículos con Capacidad. 2012

El trabajo desarrollado por Rodallega & Hernández, (2008), "diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos en la zona urbana del municipio de Jamundí, se usa el Algoritmo del Problema de Cartero Chino, dicho algoritmo se asemeja con el actual trabajo de tesis; se evidencia resultados de un mejoramiento significativo en distancias recorridas, el desarrollo se realizó en tres etapas: la primera, se realizó un diagnóstico actual de la empresa, donde se recopila información del proceso de recolección de residuos urbanos del municipio de Jamundí, el análisis de las causas del problema, en la segunda etapa se recopila información adicional como rutas actuales, distancias y sentidos de circulación, así como la conexiones entre calles; el algoritmo asume que debe pasarse una vez por todas las calles, marcar el punto de origen y finalización del recorrido, Jamundí aproximadamente tiene alrededor de 93737 habitantes considerada como una zona pequeña, pero el algoritmo se puede implementar en macrozonas en general, si la zona a tratar es pequeña, no compleja, se modela en un software básico como lo es WinQSB, los resultados de dicho trabajo muestra resultados óptimos logrando una reducción de distancias del 44%¹¹

Márquez, (2007)¹² en su trabajo macro y microruteo de residuos sólidos residenciales, analiza los diferentes aspectos, métodos de recolección: recolección en acera, esquina o parada fija, de llevar o traer, contenedores fijos y móviles; frecuencia de recolección puesto que se tienen tiempos de incubación de la mosca, recolección diaria, recolección cada tercer día, recolección dos veces por semana, adicional se estudian las cuadrillas de ruteo, los equipos de recolección: vehículos compactadores, vehículos recolectores con caja abierta, sistema de contenedor transportado

¹¹ RODALLEGA & HERNÁNDEZ. Diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos en la zona urbana del municipio de Jamundí usando "el algoritmo del cartero chino". 2008

¹² MÁRQUEZ, Jorge Nelson. Macro y Micro Ruteo De Residuos Sólidos Residenciales. 2010

3.3 MARCO TEÓRICO

3.3.1 Logística y distribución. La palabra logística procede del griego (flujo de materiales), empieza aplicar en las empresas a partir de la década de los setenta, pero en la jerga militar, se empezó a emplear desde la segunda guerra mundial como apoyo para el abastecimiento y control de los recursos necesarios para las actividades bélicas.

En una empresa, la logística se relaciona con todas las actividades inherentes a los procesos de aprovisionamiento, fabricación, almacenaje y distribución de productos.

Existen tres ciclos básicos de la gestión

- El ciclo de aprovisionamiento de materiales
- El ciclo de fabricación (transformación de materiales en productos terminados)
- El ciclo de almacenaje y distribución (ubicar el producto en el consumidor final.)

Logística integral. Proceso de planificación, implementación y control eficiente del flujo efectivo de costos y almacenaje de materiales, inventarios en curso, y productos terminados, así como la información relacionada desde el punto de origen al punto de consumo con el fin de atender a las necesidades del cliente.

La cadena de suministros y la logística es un conjunto de actividades (transporte, control de inventarios etc.), donde son procesos repetitivos a lo largo del canal de flujo con la finalidad de que la materia prima se transforme en producto terminado añadiendo valor al consumidor.¹³

¹³ ANAYA, Julio. Logística Integral. La gestión operativa de la empresa. 3 Edición. Madrid. 2007. Pág. 22-23.

Canal físico de suministros. Referente a la brecha de tiempo y espacio entre las fuentes inmediatas de material de una empresa y sus puntos de procesamiento.

Canal físico de Distribución. Se refiere a la brecha de tiempo y espacio entre los puntos de procesamiento de una empresa y sus clientes. Comprende todas las actividades que están integradas en la logística de negocios o dirección de cadena de suministros.

Se piensa que la logística se toma como la dirección de flujo de producto desde puntos de adquisición de materias primas hasta los consumidores finales

Logística inversa

Es el proceso de planificar, implantar y controlar el flujo de productos desde el punto de consumo hasta el punto de origen de una forma eficiente, con el propósito de recuperar su valor o el de la propia devolución. Sus objetivos básicos son los siguientes;

- Gestión de compras
- Retirada de mercancía
- Clasificación de productos
- Devolución
- Reutilización o destrucción
- Ingeniería de producto
- Reciclaje
- Sustitución de materiales
- Gestión de residuos¹⁴

¹⁴ BASTOS, Ana. Distribución logística y comercial. La logística en la empresa. 1 Edición. 2007. Pág. 3-4. ISBN 978-84-9839-200-5.

Logística de Distribución y transporte. Las actividades que integran la logística de Distribución y transporte incluyen Transporte directo con los clientes, transporte a delegaciones, transporte de paquetería, transporte completo, transporte fraccionado, distribución productos venta, auto venta, promociones, recogida de devoluciones, toma de pedidos.

Consolidación de las operaciones logísticas, para ver la función logística en su totalidad identificando los procesos más ineficientes.¹⁵

3.3.2 Definición del problema de optimización combinatoria. Es una rama de la optimización, donde sus problemas se centran en problemas de decisión; en general un problema de optimización consiste en encontrar el valor de ciertas variables de decisión para maximizar o minimizar determinada función objetivo, sujeta a un conjunto de restricciones; aplicado a la minimización de recursos empresariales, la ruta más corta, el ruteo de vehículo en las empresas, entre otras aplicaciones; Cuando hablamos de maximizar un ejemplo son las utilidades o ganancias y un problema a minimizar son los costos; en un problema de ruteo de vehículos se modela como una función objetivo de minimización. Cuyo objetivo es diseñar una ruta adecuada para encontrar el costo, la distancia o el tiempo mínimo.

Si un problema está formulado de una manera uniforme, y el espacio de todas las soluciones posibles es conocido, un método de búsqueda trata de encontrar las soluciones que satisfagan el enunciado del problema. Dicho así parece una redundancia, pero no todos los problemas son problemas de búsqueda, ni todos los espacios de búsqueda se pueden definir también de forma uniforme¹⁶

¹⁵ NAVASCUES, Ricardo. Manual de logística integral. ISBN 84-7978-345-1

¹⁶ MERELO, J.J. Técnicas heurísticas de resolución de problemas: computación evolutiva y redes neuronales España: Grupo GeNeura, 2005. Disponible en: <http://geneura.ugr.es> (consultado: 3 de junio de 2014)

3.3.2.1 Programación lineal entera: Los programas lineales enteros son aquellos en los que algunas o todas las variables están restringidas a tener valores enteros (o discretos). La programación lineal entera tiene aplicaciones prácticas importantes. Desafortunadamente, a pesar de décadas de extensas investigaciones, la experiencia en cómputo con programas lineales enteros ha sido menos que satisfactoria. Hasta esta fecha no existe un programa de cómputo para programas lineales enteros que pueda resolverlos en forma consistente¹⁷

Entre los tipos de problemas de programación lineal, se encuentran las variables enteras puras, variables binarias, variables mixtas es decir combinación de estas dos últimas, sumando las variables continuas; la programación lineal entera hace alusión a variables no negativas, enteras.

3.3.2.2 Programación entera binaria: La programación entera binaria, es un método perteneciente a la programación lineal por lo que su algoritmo matemático resuelve problemas indeterminados, formulado a través de ecuaciones lineales optimizando siempre una función objetivo que por lo general se trata de minimización o maximización de distancias, costos y tiempos; la programación lineal binaria se utiliza en problemas en tomas de decisiones si se hace la tarea o por lo contrario se decide que no se hace; su campo de aplicación se enfoca en el despacho de envíos, el diseño de redes, la elección de un sitio, la ubicación de planta, la ubicación de personal y la programación de actividades.

3.3.2.3 Software para resolver programación entera binaria PEB: Todos los paquetes de software incluidos en el OR Courseware (Excel, LINGO/LINDO y MPL/ CPLEX) contienen un algoritmo para resolver modelos de PEB (pura o mixta), así como otro para solucionar modelos generales de PE (pura o mixta) donde las variables deben ser enteras pero no binarias. Sin embargo, en razón de

¹⁷ TAHA, Hamdy. Investigación de Operaciones. Traducido por Virgilio González Pozo. 7 Edición. México. Pearson Education, 2004. 848 p

que las variables binarias son mucho más fáciles de manejar que las variables enteras generales, por lo común el primer algoritmo puede resolver problemas mucho más grandes que el segundo. Cuando se utiliza Excel Solver, el procedimiento es básicamente el mismo que para programación lineal. La única diferencia surge cuando se oprime el botón de “Agregar” en el cuadro de diálogo de Solver para añadir restricciones. Además de las que se ajustan a programación lineal, se necesitan las restricciones de enteros. En el caso de variables enteras que no son binarias, éste se logra en el cuadro de diálogo de “Agregar restricción” si se introduce el rango de variables restringidas a enteros en el lado izquierdo y después se elige “int” del menú desplegable. En el caso de variables binarias, se selecciona “bin” del menú.

En el caso de un modelo de MPL, se usa la palabra clave INTEGER para designar a las variables enteras generales, mientras que BINARY indica las variables binarias. En la sección de variables de un modelo MPL, todo lo que se necesita es agregar el objetivo adecuado (INTEGER o BINARY) delante de VARIABLES para especificar que el conjunto de variables enumeradas bajo esta etiqueta es de ese tipo. Como alternativa, se puede ignorar esta especificación en la sección de variables y colocar restricciones de enteras y binarias en la sección del modelo en cualquier lugar después de las otras restricciones. En este caso, la etiqueta del conjunto de variables se convierte en sólo INTEGER o BINARY. El complemento CPLEX de MPL incluye los últimos algoritmos para resolver modelos de PE y PEB puros o mixtos. Si elige MIP Strategy del submenú CPLEX Parameters del menú de Options, el usuario con experiencia puede incluso elegir entre una variedad de opciones la manera exacta de ejecutar el algoritmo para que se ajuste mejor al problema en cuestión.¹⁸

¹⁸ HILLIER, Frederick. Introducción a la Investigación de Operaciones. 9 edición. México. Mc Graw Hill, 2010. 1010 p

3.3.3 Gestión de residuos. La generación de residuos sólidos es un problema que va en crecimiento a través de los años, que surge de diversos factores como el crecimiento de la población que a su vez aumenta la cantidad de residuos, la crisis económica, que por razones obvias reduce el gasto para su desarrollo registrando tarifas de menor cuantía lo que acontece a prestar un servicio de baja calidad, además del comportamiento de la sociedad a la falta de ausencia en educación sanitaria y participación ciudadana dejando como consecuencia condiciones inhumanas, falta de limpieza en las áreas públicas, la descarga de los residuos en las fuentes hídricas, el incremento de actividades informales y botaderos a cielo abierto. Es por todo esto que se debe hacer un estudio en la población y generación de residuos sólidos, para diseñar programas de gestión de residuos sólidos; actualmente son varias las ciudades de Colombia que tienen sus respectivos programas con su debida implementación y actualización; Bucaramanga se encuentra en la fase de elaboración a cargo de la Universidad Industrial de Santander y el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB). La gestión de residuos es un tema que abarca diversidad de problemáticas, entre ellas la elaboración de estrategias para la optimización de recolección de residuos urbanos usando como solución, técnicas de investigación de operaciones. Según el decreto 2981 (Ministerio de Vivienda , Ciudad y Territorio, 2013)¹⁹ define el residuo sólido: cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente solido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora pública de aseo; y la gestión integral de residuos sólidos (GIRS): que en concepto es el conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de

¹⁹ DECRETO 2981. [en línea] Disponible en:
www.andi.com.co/Archivos/file/.../2014/DECRETO2981residuos.pdf

aprovechamiento y comercialización. También incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables.

Factores como aumento en los desechos fósiles, materia prima, el crecimiento de la población, productos manufacturados que depositan en los rellenos sanitarios, la regulación y la reducción de terrenos disponibles para ser usados como rellenos sanitarios, es lo que motiva a darle un adecuado tratamiento y disposición de los desechos urbanos.

Actualmente hay tres técnicas de investigación: optimización, simulación y multicriterio. La optimización cuya intención es identificar el máximo o el mínimo de una función a través de modelos de programación matemática construyendo restricciones y una función objetivo logrando impactos positivos en el desempeño de las empresas respaldando decisiones estratégicas y tácticas de las cadenas de suministro y es usado para la ubicación y número de instalaciones, la capacidad y flujo de materiales que hay entre estas incluyendo programaciones lineales enteras y mixtas, minimizando costos, maximizando utilidades, nivel de servicio al cliente, calidad del producto entre otras.

La simulación se usa para entender como los sistemas se comportan en el tiempo y comparar su desempeño bajo diferentes condiciones y comprende enfoques como la simulación de eventos discretos (SED) la dinámica de sistemas (DS), simulación Montecarlo, redes de Petri. La simulación encuentra varias soluciones que se acercan a varias soluciones a la óptima, pero brinda mayores posibilidades que se ajuste a la realidad es por esto que son escasos las técnicas por simulación.

El multicriterio comprende una diversidad de métodos, enfoques y técnicas para ayudar a la toma de decisiones en términos de escoger, categorizar, o clasificar acciones con dos criterios y un decisor por lo menos; y es usado para la

localización de plantas de procesamiento, la selección de modo de gestión de residuos, las decisiones de operadores de gestión de residuos²⁰

En el transcurso de los años se han desarrollado software o programas informáticos que ayudan a dar solución por medio de algoritmos a los problemas de asignación de rutas (transporte) y diferentes ramas de la ingeniería, como en la organización industrial, la logística, diseño de redes etc. En la universidad politécnica de Valencia (Barcelona) para la optimización de los recursos disponibles de la gestión de residuos sólidos urbanos hacen uso del programa de grafos con algoritmos heurísticos y genéticos para la solución de problemas reales, afirman que los algoritmos heurísticos presentan inconvenientes por la falta de precisión y largos tiempos de ejecución, es por ende que utiliza algoritmos genéticos para minimizar la función de la longitud del trayecto.

El software de Grafos es de licencia libre fácil de usar e intuitivo, analiza en forma de diagrama o mediante tablas, pero para el lector es más fácil de interpretar por diagramas. La herramienta se distribuye bajo la licencia creative common lisence y desarrollado en Microsoft Visual Studio 2005 lo que garantiza su funcionamiento en Microsoft Windows y facilita su adaptación a futuras versiones; además permite importar y exportar datos para que se pueda enlazar con otros tipos de programas como son los sistemas de información geográfica GIS; combina modelos heurísticos con modelos de optimización para el cálculo de rutas mínimas, rutas críticas entre otras. Como fase de entrada se define una red de líneas o arcos que representan las calles y los nodos que son los puntos donde se ubican los contenedores, y son las intersecciones de los arcos, cruce de calles.

²⁰ PEÑA, Claudia; OSORIO, Juan. Gestión de residuos sólidos en cadenas de suministro de ciclo cerrado desde la perspectiva de la investigación de operaciones. Revista Luna Azul [online]. 2015, No. 4, pp 5-28 Disponible en: < http://200.21.104.25/lunazul/downloads/Lunazul41_2.pdf>. ISSN: 1909-2474.

Para la solución se presentan tres escenarios en la cual se hace las respectivas comparaciones; el primer escenario, ver figura 2, consiste en considerar todas las calles con un solo sentido de circulación, en el segundo escenario representa la circulación en ambos sentidos, y en la tercera opción circulación mixta donde se asume combinación de un solo sentido y de dos sentidos. Ver figura 3. En la figura se presentan los algoritmos más comunes. Ver figura 1.

Figura 1. Algoritmos para la resolución de caminos.

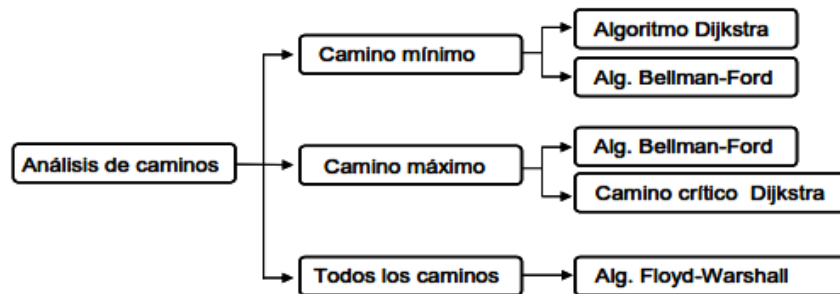


Figura 2. Circulación en un solo sentido.



Fuente: ALBEROLA, Carlos; Optimización de recursos en la gestión de residuos sólidos urbanos utilizando software libre 3. 2014

Figura 3. Circulación mixta



Fuente: ALBEROLA, Carlos; Optimización de recursos en la gestión de residuos sólidos urbanos utilizando software libre 4. 2014.

Otro software utilizado para solución de problemas de transporte es la herramienta de Microsoft Excel incluyendo el complemento Solver Premium, el cual en su interior utiliza el método de ramificación y acotamiento (Branch and Bound) con la aplicación técnicas heurísticas propias del sistema de ruteo tanto como constructivas como de inserción; además se tiene en cuenta la aplicación metaheurística de búsqueda tabú.

3.3.4 Microruteo – asignación de rutas. La microruta, es el recorrido específico que debe cumplir diariamente un vehículo compactador en las áreas de población que han sido asignados por un proceso de planificación anterior; con el objetivo de realizar la recolección de la mejor manera posible recogiendo la cantidad de desechos generados por los usuarios del sector. El proceso consiste en desarrollar una ruta de recolección de residuos sólidos a cada sub-sector o barrio

de forma tal que puedan realizar todo el proceso minimizando tiempos y distancias.

Para hacer efectivo el proceso se deben tener ciertos aspectos:

- Lugar de garaje
- Lugar de disposición final
- Sentidos de circulación
- Hora de mayor cantidad de tránsito y situación de la congestión
- Topografía
- Vías servibles o no servibles
- Tipo de trazo de rutas.

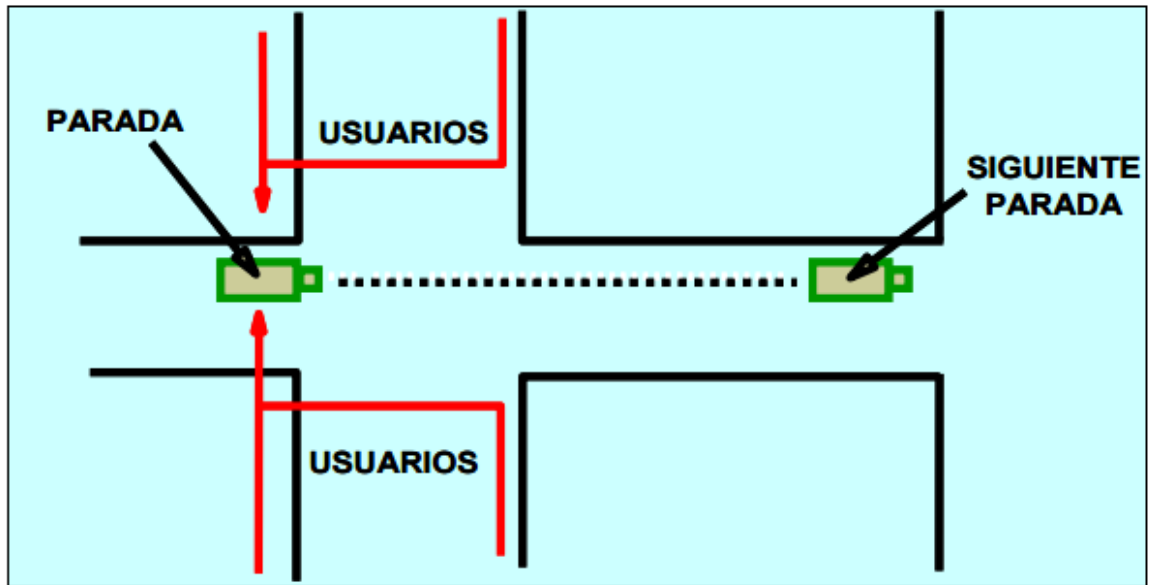
En el tipo de trazo de rutas existen dos métodos según la zona a diseñar la ruta Peine: se recorre solo una vez ambos lados de la vía a la misma hora; recomendable para los sectores o barrios de escasa densidad poblacional y con vías de longitud mayor. Doble peine: recolección de un lado de las vías, se recorre dos veces como mínimo, es recomendado para sectores de alta densidad de la población, como es el caso de los sectores comerciales.

Para efectos del desarrollo de la tesis se analiza los distintos tipos de recolección para luego escoger el que mejor se adapte al caso de estudio

3.3.4.1 Sistema de Método de Punto Fijo o parada fija: Es el método más económico que existe de todos los métodos, consiste en que los usuarios llevan sus residuos hasta donde estaciona el vehículo, los operarios de la cuadrilla toman los residuos para que sean descargados en el camión compactador y luego son regresados de nuevo a los usuarios, quienes después de ser atendidos se retiran del camión. La operación se realiza cuantas veces sea necesario hasta servir a todos los clientes de la localidad.

El método consiste en llevar al vehículo a ciertos puntos predeterminados y esperar a que los usuarios lleven los residuos en un horario establecido.

Figura 4. Método de Punto Fijo o parada fija.



Fuente: REGATO, Juan. Ciclo para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Trabajo de grado. Instituto Politécnico Nacional. México. 2007.

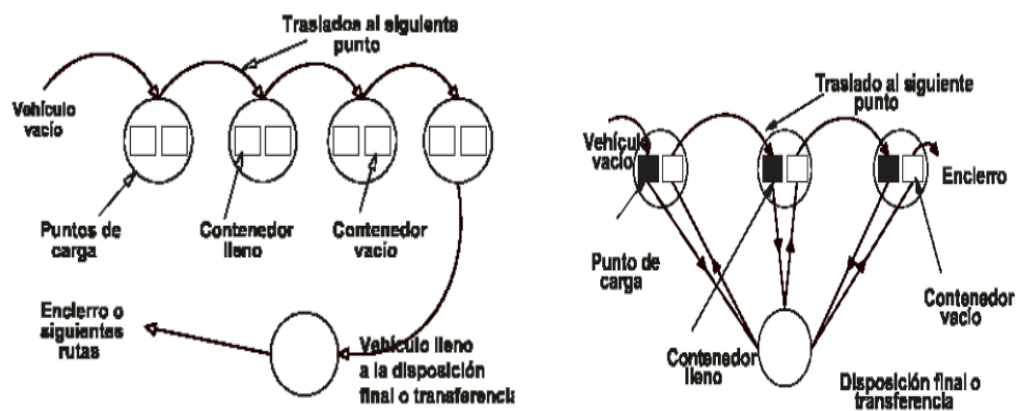
3.3.4.2 Sistema de método de contenedores: El método implica disponer de equipos de abastecimiento temporales para las zonas donde es de difícil acceso o gran generación de residuos, como suelen ser plazas de mercado, hoteles, centros comerciales, zonas marginadas entre otras. La ubicación de los contenedores debe adecuarse de forma tal que el vehículo recolector tenga fácil acceso y se puedan realizar maniobras sin problemas para la recolección.

Este método es recomendable para aquellos municipios que tenga alta capacidad financiera, puesto que se requieren vehículos especiales que vacíen mecánicamente los residuos de los contenedores. Una de las principales

desventajas de este método, es que al no ser recogidos a tiempo puede generar grandes problemas de contaminación por el volumen de residuos que se almacenan. Se distinguen dos tipos de contenedores:

- Contenedores fijos
- Contenedores móviles.²¹

Figura 5. Métodos de Contenedores fijos y Móviles.



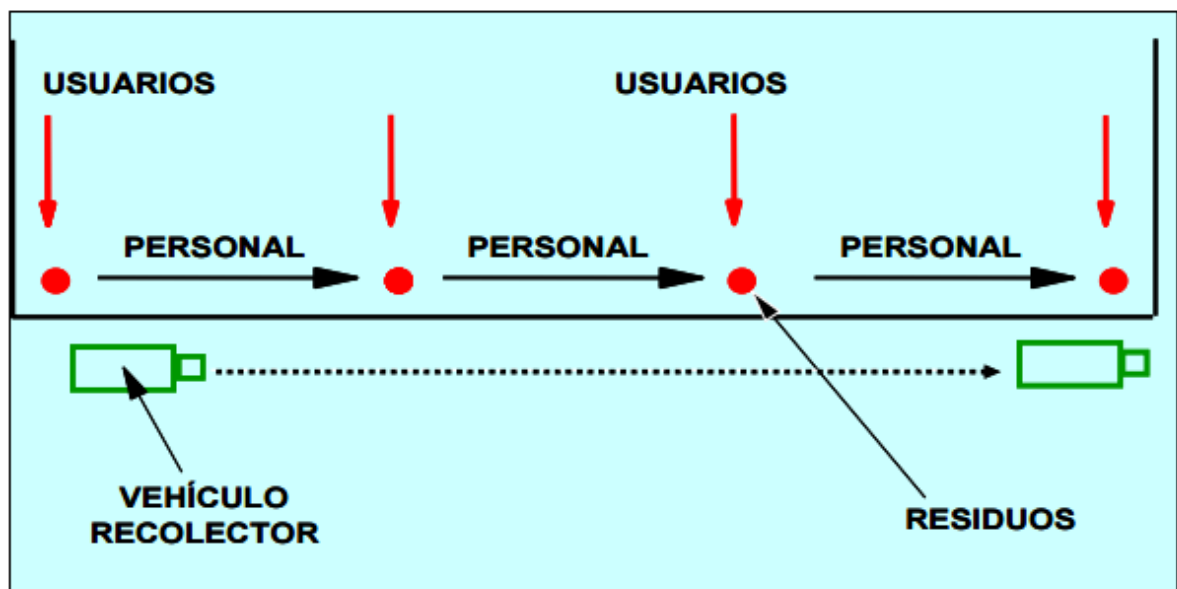
Fuente: Métodos de recolección y aspectos a considerar. Métodos de Contenedores fijos y Móviles.

3.3.4.3 Sistema de método en acera: Consiste en que simultáneamente al recorrido del camión por su ruta, los operarios de la cuadrilla van recogiendo los residuos, previamente puestos por los residentes en el frente de sus casas. Este método debe tener un horario y una frecuencia cumplida y los residentes deben estar informados de ello.

²¹ MÁRQUEZ, Jorge. Macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales. Tesis de Grado. Universidad de sucre. Disponible en: <<http://unisucre-repositorio.metabiblioteca.org/bitstream/001/299/2/628.442M357.pdf>>

Para evitar que los animales domésticos rompan las bolsas puede instalarse soportes con canastillas metálicas para colocar las bolsas lejos del alcance de los animales. La cuadrilla del vehículo debe estar integrada como mínimo por un chofer y dos operarios de recolección, el chofer tiene como obligación cumplir con las rutas, horarios y frecuencias.

Figura 6. Método en acera

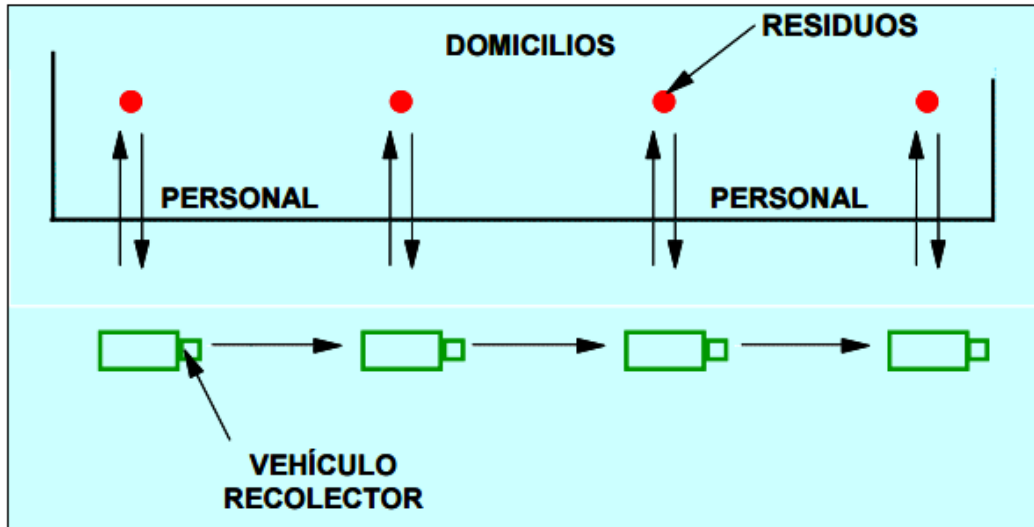


Fuente: REGATO, Juan. Ciclo para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Trabajo de grado. Instituto Politécnico Nacional. México. 2007.

3.3.4.4 Método intradomiciliario: Es semejante al anterior, con la variante que los operarios del vehículo recolector, entran hasta la entrada de la casa, por los recipientes con residuos, regresándolos hasta el mismo sitio de donde los tomaron, una vez habiéndolo vaciado dentro de la caja del vehículo.”²²

²² REGATO, Juan. Ciclo para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Trabajo de grado. Instituto Politécnico Nacional. México. 2007.

Figura 7. Método Intradomiciliario



Fuente: REGATO, Juan. Ciclo para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Trabajo de grado. Instituto Politécnico Nacional. México. 2007.

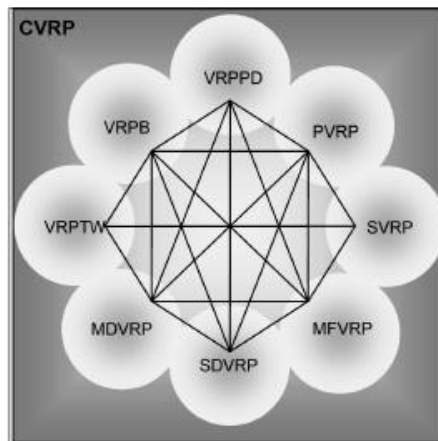
Analizando la diversidad y posibles métodos de recolección, el método de Acera es el que se escoge para el Diseño e implementación de un modelo para la asignación de rutas de recolección de basuras en Econatural S.A. E.S.P por sus características de operación.

3.3.5 Generalidades del ruteo de vehículos

3.3.5.1 Definición de un problema de ruteo de vehículos (VRP): El problema de distribuir productos desde uno o varios depósitos a los clientes finales juega un papel importante en la gestión de algunos sistemas logísticos, su correcta planificación puede generar grandes ahorros. Al tener impactos positivos al problema a tratar, hace que se indague y se aplique técnicas de investigación operativa como un puente facilitador, ya que los costos de transporte representan entre el 10% y 20% de los costos logísticos del bien o servicio. El ruteo de vehículos se puede tratar desde dos Enfoques; desde el problema del agente

viajero (TSP) o problemas con capacidad definida; para abordar cualquiera de estos dos problemas es necesario determinar el tipo de recurso a utilizar, la cantidad y las rutas a seguir. El ruteo de vehículos (VRP) según Olivera (2004), surgió desde 1959. Cualquiera que sea abordado, el VRP se define como un problema de optimización combinatoria complejo; actualmente existe ocho tipos pertenecientes a la familia del VRP. Un problema de ruteo puede que no surja inmediatamente un problema óptimo, por consiguiente, es necesario una metodología de solución específica que sea posible aproximarse lo más cercano posible al óptimo. La siguiente figura muestra las extensiones que puede abordar específicamente un problema VRP.

Figura 8. Familia VRP



Fuente: Tesis doctoral ruteo por arcos

El VRP en términos generales y matemáticos, se formula de la siguiente manera: “Sea $G = (V, A)$ un gráfico completo, donde $V = \{1, \dots, n+1\}$ define un conjunto de vértices asignados a n clientes con el depósito localizado en el vértice 1, y A un conjunto de arcos”²³

²³ LAPORTE, Gilbert. The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. En: European Journal of Operational Research, 1992., vol. 59., p. 345

El problema de ruteo de vehículos se representa en un grafo con nodos y arcos, los cuales representan la ubicación de los clientes y la red vial por la cual pueden circular los vehículos.

3.3.5.2 Modelo de asignación de rutas de recolección en acera. (ARP): Se estima que la generación de residuos sólidos por persona está entre 500 y 1000 gr/hab/día, esto es un problema que ha existido desde años atrás, pero debido a su alto costo de transporte y recolección hay escasas en emitir e implementar soluciones.

El desarrollo de asignación de rutas tiene como objetivo desarrollar una secuencia de recolección para un flota de vehículos que satisfaga la demanda de los clientes se dice que es un problema NP, debido a que no se puede desarrollar en tiempo polinomial; para determinar que algoritmo es el necesario, se debe hacer un análisis de red y de los resultados que se esperan; si el vehículo atraviesa todos los nodos de la red se tiene un NRP(Node Routing Problem) tal como el TSP (Traveling Salesman Problem); si por lo contrario si el vehículo debe recorrer todos los arcos de la red se tiene un ARP (Arc Routing Problem).

El problema de asignación de rutas de recolección en acera se considera como una variante del CPP, problema del cartero chino que considera que todos los arcos de una red mixta deben ser recorridos por lo menos una vez, para ello se debe cumplir lo siguiente:

- El grafo $G = (V, E)$ debe ser conectado, permitiendo el traslado entre cualquier par de nodos.
- Cada nodo del grafo G debe ser de grado par, es decir, el número de arcos que inciden en un nodo es igual al número de arcos que salen del mismo.

En el problema ARV se plantea una solución donde se construye dos redes, la primera se relaciona con los X_{ijvk} que representa la red de recolección de carga y una red idéntica formada por Y_{ijvk} red de desplazamiento; esto quiere decir la diferencia entre un vehículo recoge o recorre de un nodo a otro.

Información de entrada para el desarrollo de un problema de asignación de rutas en acera.

- *Configuración de la red:* construir una red formada por nodos y arcos, por ende, es necesario conocer el sentido de las vías, el estado, el tráfico, distancias entre puntos de recolección, velocidad promedio de circulación, ubicación de la base de operaciones y el sitio de disposición final.
- *Estimación de la demanda:* en cada punto de recolección la demanda varía lo que es necesario conocer el área total (ha), la densidad de población (hab/ha) y la tasa de generación de residuos sólidos (kg/hab/día).
- *Tiempos de proceso:* diversos tiempos como lo es tiempos entre garaje y microruta, microruta-relleno y relleno-garaje; el tiempo total en la microruta, ya sea de recolección o de desplazamiento, tiempo de descarga o de permanencia en el relleno sanitario.
- *Disponibilidad del vehículo:* número de vehículos/yardas cúbicas. Número de vehículos de la flota de transporte sobre la capacidad del vehículo además es importante conocer la densidad de la basura del vehículo recolector (kg/m³).
- *Disponibilidad de la tripulación:* implica conocer las horas hombre laboradas diarias (horas/hombre), el tamaño de la tripulación (hombres/tripulación) y el número de viajes que una tripulación realiza en un día.
- *Costos:* el problema puede abordar costos de operación, mantenimiento, administración, inversión, comercialización; asociada a tonelada recolectada o kilómetro recorrido.

3.3.5.3 Comparación entre los problemas de rutificación en arcos y en nodos: Un problema de ruteo en arcos consiste en recorrer un conjunto de arcos R de una red $G=(V,A\cup E)$, donde A son arcos dirigidos y E son los arcos no dirigidos y V vértices; una red puede estar conformada por arcos dirigidos o arcos no dirigidos o la mezcla de ambos. Adicional G puede ser un multigrafo donde en un par de nodos existe más de un enlace en V , con un costo asociado a los arcos $c_{ij} \geq 0$ para todos los arcos $a(i,j) \in E \cup A$, Para cualquier pareja de nodos, denotamos el costo del camino más corto entre ambos como $SP(i,j)$.

Oficialmente un problema de ruteo en arcos tiene como objetivo minimizar la suma de los costos asociados de no servir los arcos requeridos por el programa de recolección, ya que los costos de los arcos obligatorios se contemplan en todas las soluciones. El objetivo es encontrar un camino que cubran todos los arcos de R con un costo mínimo.²⁴

Tabla 6. Algunos problemas conocidos de rutificación en arcos.

PROBLEMAS DE ARCOS		PROBLEMAS EN VÉRTICES
Problema del cartero chino no dirigido	CPP	TSP
Problema del cartero chino dirigido	DCPP	ATSP
Problema del cartero mixto	MCPP	ATSP
Problema del cartero rural no dirigido	RPP	TSP
Problema del cartero rural dirigido	DRPP	ATSP
Problema de rutificación de arcos con capacidad	CARP	CVRP

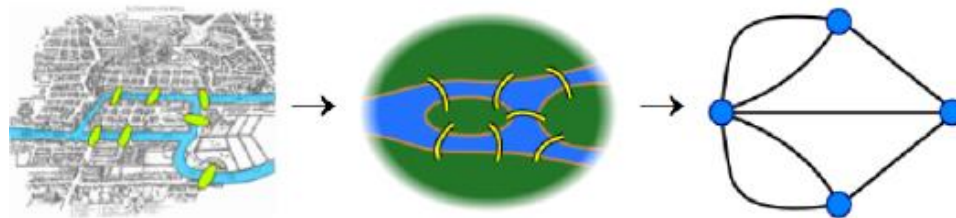
Fuente: II Conferencia de ingeniería de organización. (5-6, septiembre, 2002: vigo). Una Revisión de Modelos para el Diseño de Itinerarios y su Aplicabilidad a los Problemas de Recogida de Residuos Urbanos. Asociación para el desarrollo de la ingeniería de la organización, 2002, Pág. 649-656.

²⁴ II Conferencia de Ingeniería de Organización. (5-6, Septiembre, 2002:vigo). Una Revisión de Modelos para el Diseño de Itinerarios y su Aplicabilidad a los Problemas de Recogida de Residuos Urbanos. Asociación para el desarrollo de la ingeniería de la organización, 2002, Pág. 649-656.

3.3.5.4 Tour euleriano: En honor a Euler²⁵ se le asigna esta definición, un camino que comience en uno de los vértices y finalice en este mismo punto y que atraviese una única vez cada arista del grafo, dicho grafo es conocido como grafo Euleriano. El origen de los problemas de rutas inicia en la ciudad de Königsberg con un problema de puentes de la ciudad, que incluía dos grandes islas atravesada por el río pregel, conectada entre ellas por siete puentes. El problema finaliza en buscar una solución que encuentre un camino que cruzase todos los puentes de la ciudad una única vez.

Pero en 1736 Euler demostró que no era posible tal camino; la demostración al problema de los puentes de Königsberg se encuentra en su publicación “Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis” Ver figura 9; la razón es que el grafo posee cuatro vértices de grado impar lo que imposibilita la solución. Euler afirma que un grafo con dos vértices impar es imposible encontrar un camino que atraviese todos los puentes exactamente una vez y si hay vértices de grado par tal camino partiendo desde cualquier vértice (y volviendo al mismo).

Figura 9. Los siete puentes de KÖNIGSBERG



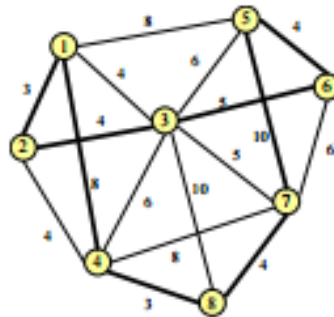
Fuente: L.EULER, “Solutio problematis and geometrian situa pertinentis”,comment. Academiae csi. I. petropolitanae 8. 1736

²⁵ L.EULER, “Solutio problematis and geometrian situa pertinentis”, comment. Academiae csi. I. petropolitanae 8. 1736.

“Los problemas de rutas por arcos se clasifican en grafos dirigidos, no dirigidos, mixtos o windy; según las características de las carreteras, la topología de las calles en una ciudad, etc.; es decir si tenemos calles de dirección única las representamos a través de arcos (obteniendo un grafo definido) y sin son de doble sentido se representan por aristas (dando lugar a un grafo no definido). Y cuando hay calles de único sentido y calles de doble sentido se obtiene un grafo mixto²⁶

3.3.5.5 Tour hamiltoniano: Un tour o ciclo Hamiltoniano es un ciclo simple que pasa por todos los vértices del grafo.²⁷

Figura 10. Algoritmos heurísticos en optimización combinatoria.



Fuente: MARTI, Rafael. Algoritmos heurísticos en optimización combinatoria. [en línea] Disponible en: < <http://yalma.fime.uanl.mx/~roger/work/teaching/mecbs5122/1-Introduction/Intro-by-Rafa%20Marti.pdf>>

²⁶ SALVADOR, Ángel; ANDANI, Isaac; LLOPIS, José. Algunos problemas de rutas por arcos. Tesis Doctoral. España. Universidad de Valencia, 2014. 3 p

²⁷ MARTI, Rafael. Algoritmos heurísticos en optimización combinatoria. [en línea] Disponible en: < <http://yalma.fime.uanl.mx/~roger/work/teaching/mecbs5122/1-Introduction/Intro-by-Rafa%20Marti.pdf>>

3.4 PROBLEMAS DE RUTAS DE VEHÍCULOS

3.4.1 El problema del viajante (TSP). Traveling Salesman problem, TSP, En la literatura científica es uno de los problemas más estudiados de rutificación por Vértices; el planteamiento consiste en construir un grafo completo con un vértice representando a cada una de las ciudades y una arista (i,j) , entre cada par de vértices o nodos (i,j) ; con un costo asociado igual a la distancia entre las respectivas ciudades.

Dado un grafo completo $G = (V, E)$ con costos no negativos $c_e, e \in E$ encontrar el tour de costo mínimo que pase una sola vez por cada vértice del grafo.

3.4.2 El problema gráfico (GTSP). Graphical Traveling Salesman Problem, GTSP, Es una extensión del TSP originario de Felischmann (1985) y Cornuejols, Fonlupt y Naddef (1985), como parámetro de entrada el grafo no exactamente tiene que ser Completo y la ruta debe pasar al menos un vez por cada vértice.

Dado un grafo $G = (V, E)$ con costos no negativos $c_e, e \in E$ encontrar un tour en G de costo mínimo que pase por cada vértice $v \in V$ al menos una vez.

La ventajas que tiene respecto al problema TSP es que el poliedro de soluciones es de dimensión completa, se necesitan menos variables, pues se trabaja directamente sobre el grafo que modeliza la red viaria, que es diferente de un grafo completo; en cuanto a su clasificación, si el grafo es dirigido tenemos el GATSP, y si el grafo es mixto o windy el problema equivale GATSP.²⁸

²⁸ COBERAN, Ángel; SANCHIS, Josè. La combinatoria poliédrica y los problemas de rutas de vehículos. [en línea] Disponible en: http://www.emis.ams.org/journals/BEIO/files/BEIOv21n3_IO_ACorberan+JMSanchis.pdf <

3.4.3 Problema del cartero chino.

3.4.3.1 El problema del cartero chino no dirigido CPP: Sea $G = (V, E)$ con grafo conexo no dirigido con costos no negativos inscrito a sus aristas.

El CPP consiste en encontrar un camino de costo mínimo en G . si se obtiene un grafo de grado par este problema puede ser solucionado fácilmente teniendo en cuenta el siguiente teorema:

TEOREMA: “un grafo G conexo y no dirigido, contiene un tour que atraviesa cada arista exactamente una vez (Tour Euleriano) si el número de vértices de grado impar es cero. Por tanto, sería un tour de costo mínimo.”

Este problema es resuelto como uno de acoplamiento de mínimo costo por los señores Edmons, busacker, saaty, christofides y Johnson.

El procedimiento de solución $O(n^3)$ y se plantea a continuación sea $V' \subseteq V, V' = \{v_1, \dots, v_t\}$ el conjunto de vértices de G de grado impar cuyo número es siempre par; construir el grafo completo $G' = (V', E')$ donde $v_i, v_j \in V', (v_i, v_j) \in E'$, donde el costo $s = (v_i, v_j)$ asociado a cada arista $(v_i, v_j) \in E'$

Es igual al costo del camino más corto entre v_i y v_j en G . Resolver en G' el problema de acoplamiento de costo mínimo; sea M el conjunto de aristas de la solución óptima. Entonces añadiendo a G las aristas artificiales correspondientes a las aristas de G en los caminos más cortos identificado con aristas de M , obtenemos un grafo par. Es fácil demostrar que cada arista aparece como máximo dos veces en cualquier solución óptima al CPP

3.4.3.2 El problema del cartero chino en un grafo dirigido DCPP: Ahora se considera el problema de encontrar un tour de costo mínimo en un grafo dirigido. Sea $G = (V, A)$ un grafo dirigido con costos no negativos asociados a los arcos de A . el grafo debe ser fuertemente conexo para asegurar la existencia de soluciones al problema.

En el caso en que el grafo G sea simétrico, el problema es trivial, puesto que:

Teorema: un grafo G fuertemente conexo y dirigido, contiene un tour Euleriano si los grados de entrada, $dt(v)$, y los grados de salida $do(v)$, son iguales $\forall v \in V$.

La regla de Fleury mencionada en el problema del cartero chino no dirigido (CPP) puede ampliarse fácilmente al caso dirigido para construir un tour Euleriano si existe.

Si el grafo G es no simétrico, el problema consiste como en el caso no dirigido, en buscar un conjunto de arcos artificiales, con costo total mínimo, que al momento de añadirlos a G , hacen éste simétrico. Éste se resuelve como un problema de flujo de costo mínimo. En donde:

- a. Los vértices $v \in V$ con $D(v) = dt(v) - do(v) > 0$, son considerados fuentes con ofertas $D(v)$
- b. Los vértices $v \in V$ con $D(v) < 0$, son considerados sumideros con demanda $-D(v)$.

Añadir una superfuente conectada a todas las fuentes y un supersumidero conectado a todos los sumideros existentes. La capacidad de cada arco que incide en el supersumidero se define con la demanda de su vértice inicial; la capacidad de cada arco que sale de la superfuente es igual a la oferta del vértice final. Las restantes capacidades de los arcos son infinitos. Entonces, solucionaremos un

problema de flujo de costo mínimo que satisfaga todas las necesidades de las fuentes y sumideros.

A partir del grafo G , construimos el grafo G^* adicionando a cada arco de G suficientes arcos artificiales como unidades de flujo lo hayan atravesado en la solución al problema de flujo anterior. El grafo G^* propuesto es simétrico.

3.4.3.3 El problema del cartero chino en un grafo mixto MCPP: Sea $G = (V, A, E)$ un grafo mixto, donde V es un conjunto de vértices, A un conjunto de arcos y E un conjunto de aristas: supondremos costos no negativos asociados a los arcos y aristas del grafo: denotaremos por $(i, j) \in A$ al arco de i a j y por $i a j \in E$ la arista que une i y j .

El MCPP es el problema de encontrar un tour de costo mínimo en G , donde las aristas pueden ser atravesadas en una o en ambas direcciones, una condición necesaria y suficiente para que exista solución es que G sea fuertemente conexo. Diremos que el grafo G es par cuando cada vértice tiene grado par (número de arcos y aristas incidentes con él.)

A diferencia con los casos dirigido y no dirigido, el MCPP es un problema NP-completo; Como lo demostró Papadimitriou, incluso siendo el grafo planar, el grado de los vértices menor o igual que tres y todos los costos iguales entre sí.

Sin embargo, en el caso particular en que el grafo es par, existen algoritmos polinomiales para resolver el MCPP.

A. El grafo G es par y simétrico. Este caso es trivial puesto que existe un G un tour Euleriano.

B. El grafo G es par pero no simétrico. En este caso, el MCPP puede ser resuelto óptimamente en tiempo polinomial utilizando un flujo de costo mínimo que haga el grafo simétrico. Algoritmos heurísticos para el MCPP

Los dos procedimientos heurísticos más conocidos han sido estudiados por Frederickson. Estos dos algoritmos llamados MIXED 1 Y MIXED 2, transforman el grafo original en un grafo par y simétrico en dos etapas, ambas óptimas por separado pero que pueden producir una solución no óptima al MCPP cuando se aplican conjuntamente.

Algoritmos exactos para el MCPP

Hasta el momento, solo existe un método exacto para el MCPP que haya sido detallado completamente y aplicado a una colección de problemas test. El método, debido a Christofides et al. Otros métodos exactos han sido sugeridos por Kappauf y Koehler y Minieka:

Kappauf y Koehler presenta una formulación similar a la anterior y demuestran que los puntos extremos del poliedro de soluciones posibles del problema lineal asociado al MCPP tienen coordenadas enteras excepto para las variables y_{ij} , que pueden tomar el valor $\frac{1}{2}$, también lo hace la variable y_{ji} , entonces, como puede demostrarse fácilmente, podemos obtener soluciones posibles para el MCPP haciendo 1 todas las variables con valor de $\frac{1}{2}$. Se demuestra también que la solución óptima al MCPP se encuentra entre las soluciones posibles así obtenidas. Así pues, un método para resolver el problema sería estudiar todos los puntos extremos de este poliedro. Sin embargo, como ellos mismos señalan, el MCPP es bastante degenerado y normalmente muchas bases corresponden a un mismo punto extremo.²⁹.

²⁹ BENAVENT, Enrique; CAMPOS, Vicente; COBERAN, Ángel; MOTA, Enrique. Problemas de rutas por arcos. En: Qüestiió, 1983. Vol 7, p. 479-480. ISSN 0210-8054

3.4.3.4 El problema de los m carteros (m-CPP): Una expansión natural del CPP resulta cuando se sugiere el problema de encontrar no uno, sino m circuitos, todos ellos contienen un vértice especificado (el depósito) y que conjuntamente atraviesen todas las aristas de la red vial.

Se puede imponer varios tipos de restricciones sobre los circuitos que van a ser cubiertos por los vehículos, tales como la capacidad de los vehículos, tiempo máximo de servicio etc.

Además, los objetivos que se persiguen pueden ser diferentes; por ejemplo, se puede tratar de minimizar el número total de vehículos, la distancia total recorrida, la máxima distancia recorrida por cualquiera de los vehículos etc. Asimismo es posible considerar varios depósitos o diferentes puntos de salida y llegada por los vehículos.³⁰

3.4.4 El problema del cartero rural (RPP)

3.4.4.1 El problema del cartero rural no dirigido (RPP): Sea $G = (V, E)$ un grafo conexo y no dirigido y sea $c_e \geq 0$ el costo de la arista $e \in E$. Dado un subconjunto de aristas requeridas, $E_R \subseteq E$, el RPP consiste en encontrar un circuito de costo mínimo que atraviese cada arista de E_R al menos una vez. Sea v_R el conjunto de vértices incidentes con al menos una arista de E_R .

³⁰ BENAVENT, Enrique; CAMPOS, Vicente; MOTA, Enrique; et al. Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa. Núm. 2, 1985. 27-38 p. vol. 32

En christofides et al. (1981) Se demuestra que el RPP definido sobre G es equivalente al problema definido sobre el grafo $G_c = (V_R, E_R \cup E_s)$ donde las aristas de E_s unen cada par de vértices $v_i, v_j \in V_R$ y tienen un costo asociado, $c(v_i, v_j)$, igual al del camino mas corto entre v_i y v_j en G .³¹

3.4.4.2 El problema del cartero rural dirigido (DRPP): El problema del Cartero Rural Dirigido se define como un grafo dirigido $G = (V, A)$, con un costo asociado $c_a \geq 0$ asociado a cada arco $a \in A$, y sea $AR \subseteq A$ un subconjunto no vacío de arcos de G que llamaremos requeridos. Buscamos un tour de costo mínimo en G que pase al menos una vez cada arco de AR . Como en el caso del problema no dirigido, el DRPP es NP-difícil. Tomando como base la formulación presentada por Christofides et al. (1986), Savall (1990), define el poliedro de soluciones del DRPP y estudia algunas de sus propiedades.

Igualmente de forma independiente, ha sido estudiado por Gun (1993). Campos y Savall (1995) realizan un estudio comparativo de tres métodos heurísticos existentes para el caso DRPP: uno propuesto por ellos, otro por Ball y Magazine (1988) y un tercero por Christofides et al. (1986). La idea global de los tres heurísticas es similar. Básicamente, o se cambia el orden de los pasos efectuados o la forma de conectar las componentes conexas inducidas por los arcos requeridos. El estudio del peor caso del algoritmo heurístico de Christofides et al. (1986) es presentado en Benavent et al. (1983). Respecto de la solución exacta del DRPP, Christofides et al. (1986) presenta un algoritmo de Branch & Bound cuya cota superior se obtiene con la heurística antes mencionada; la cota inferior es obtenida relajando lagrangianamente las condiciones de simetría y calculando una arborescencia de mínimo costo. Según Romero (1997) y Corberán, Romero, Sanchis (2003) para el RPP en un grafo mixto, se pueden aplicar directamente al DRPP. Otros resultados obtenidos por Plana (2005) y Corberán, Plana y Sanchis

³¹ Ibid.

(2008) para el RPP en un grafo windy son de aplicación aquí. Los resultados obtenidos con el Branch & Cut de Corberán, Plana y Sanchis (2008) son los conocidos hasta el momento para el DRPP. Con dicho algoritmo, los autores fueron capaces de resolver instancias con 1000 vértices, 3100 arcos y 213 componentes conexas inducidas por los arcos requeridos en menos de 1 minuto de tiempo de computación (en promedio), la mayor parte de ellas en el nodo raíz del árbol.

3.4.5 Problema de ruteo por arcos con capacidad (CARP). El problema de la capacidad de enrutamiento del arco (CARP) se puede describir de la siguiente manera: considerar un gráfico conectado no dirigido $G = (V, E)$, con un conjunto de vértices V y un conjunto de borde E y un conjunto de bordes requeridos $R \subseteq E$. Una flota de vehículos idénticos, cada uno con Capacidad Q , se basa en un designado almacén vértice. Cada borde de la gráfica (v_i, v_j) incurre en un costo c_{ij} cada vez que un vehículo se desplaza sobre él o los servicios de un borde requerido. Cuando un vehículo se desplaza sobre un borde sin mantenimiento, esto se conoce como "deadheading". Cada borde requerido de la gráfica (v_i, v_j) tiene una demanda Q_{ij} asociada a ella. Una ruta del vehículo debe comenzar y terminar en el vértice almacén designado y la demanda total atendida en la ruta no debe exceder la capacidad del vehículo, Q . El objetivo de la CARP es encontrar costo mínimo de un conjunto de rutas para los vehículos, donde cada borde requerida es atendida en una de las rutas.

El gráfico o de la red en que se basa el problema puede ser dirigida, no dirigida o mixta, pero para el desarrollo del proyecto sólo grafos dirigidos.

Existen contribuciones notables que recientemente se han propuesto para resolver el CARP. Greistorfer; también utiliza un enfoque de búsqueda basado en tabú; pero utiliza un formulario de búsqueda dispersa dentro de su heurística propuesta. Hertz y Mittaz describen un algoritmo de descenso barrio variable para el CARP.

Amberg et al. El algoritmo de búsqueda basado en tabú, su enfoque hace uso de árboles capacitados y se puede aplicar a los problemas de varios depósitos. Baldacci y Maniezzo, describen un método exacto para resolver el CARP sobre la base de una nueva transformación a un problema de enrutamiento nodo limitado. Un enfoque similar se describe por Longo et al, que también obtiene límites y soluciones a los problemas de prueba estándar utilizando una transformación para el problema de ruteo de vehículos restringidos.

El enfoque para el desarrollo del proyecto se basa en métodos exactos específicamente Branch and Bound.³²

3.5 DEFINICIÓN DEL CARP

El problema de ruteo de arcos capacitados (CARP), consiste en atender las demandas sobre las calles de la red vial, utilizando una flota de vehículos homogénea, los cuales inician y finalizan sus recorridos en un único depósito. El objetivo del CARP es minimizar el costo total recorrido, de tal forma que se atienda toda la demanda sin sobrepasar la capacidad del vehículo.

El problema se puede aplicar a empresas públicas como privadas, obtenido un beneficio en la calidad del servicio a un menor costo; además se le puede agregar otras características al modelo original algunos ejemplos, minimizar el número de vehículos usados, cumplir con las demandas dentro de un cierto intervalo de tiempo especificado, considerar una red vial con calles en un único sentido, en dos o ambos, utilizar varios depósitos donde los vehículos puedan comenzar y finalizar

³² BRANDAO, José; EGGLESE, Richard. A deterministic tabu search algorithm for the capacitated Arc routing problem. 25 September 2006. [en línea] Disponible en: <www.sciencedirect.com>

sus recorridos, considerar vehículos con diferentes capacidad de carga, entre otras.

En la literatura se encuentra que la diferencia entre el ARP Y el VRP, es que este último, es un problema sobre nodos o vértices, además se han propuesto transformaciones de VRP a CARP o viceversa; en trabajos realizados por Golden y Wong demostraron que CARP es un NP-Hard.

Existen soluciones a esta problemática clasificadas en algoritmos heurísticos, metaheurísticos y algoritmos exactos. Se presenta como un modelo de programación lineal:

- $G=(V,A)$ un grafo
- V el conjunto de los vértices
- E el conjunto de las aristas
- $R \subseteq E$ el conjunto de aristas requeridas
- $V_r \subseteq V$ el conjunto de vértices conteniendo los extremos de las aristas de R , más el vértice asociado al depósito.
- $K= \{1, \dots, M\}$ la flota de vehículos con capacidad de carga Q .
- C_{ij} el costo del recorrido de la arista (i,j) perteneciente a E .
- q_{ij} la demanda asociada a la arista (i,j) perteneciente a E .

Formulación matemática

X_{ijvk} : Variable de decisión entera para la selección del arco (i, j) en la red de recolección correspondiente al k -ésimo recorrido (tour) de un vehículo recolector tipo v .

Y_{ijvk} : Variable de decisión entera para la selección del arco (i, j) en la red de desplazamiento correspondiente al k -ésimo recorrido (tour) de un vehículo recolector tipo v .

D_{ij} : Distancia a través del arco (i, j), (Km, mts).

Q_{ij} : Cantidad de residuos a ser recolectados a través del arco (i,j), (Ton,Kg)

C_{ij} : Capacidad de un tipo específico de vehículo recolector (Ton,Kg).

C_v : Número total de tipos de vehículos de una flota.

N' = Número total de nodos en el vecindario del nodo i en la red.

I' = Conjunto de todos los nodos alrededor del nodo j en la red.

K_v : Número máximo de servicios que puede realizar un vehículo en un día.

T_{vk} : Máximo límite de tiempo de recolección en el késimo viaje para un vehículo recolector tipo v,(hrs, min).

tc_{ij} : Tiempo de carga ó recolección a lo largo del arco (i, j) para el k-ésimo viaje en un vehículo recolector tipo v, (hrs, min).

td_{ij} : Tiempo de viaje o desplazamiento a lo largo del arco (i, j) para el k-ésimo viaje en un vehículo recolector tipo v, (hrs, min).

N : Número total de nodos en la red.

I : Conjunto de todos los nodos alrededor del nodo i en la red

Minimizar: $\sum_{k=1}^{Kv} \sum_{v=1}^V \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N (D_{ij} X_{ijvk} + D_{ij} Y_{ijkv})$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^{Kv} \sum_{v=1}^V \sum_{(i,j) \in A} X_{ijvk} = 1 \quad \forall (i,j) \in A \quad (1a)$$

$$\sum_{k=1}^{Kv} \sum_{v=1}^V \sum_{(i,j) \in A} X_{ijvk} + \sum_{k=1}^{Kv} \sum_{v=1}^V \sum_{(j,i) \in A} X_{jivk} \quad \forall (i,j) \in A \quad (j,i) \quad (1b)$$

$$\sum_{k=1}^{Kv} \sum_{v=1}^V \sum_{j \in I} X_{ijvk} + Y_{ijvk} \geq 1 \quad i=1,2,\dots,N \quad (2a)$$

$$\sum_{k=1}^{Kv} \sum_{v=1}^V \sum_{j \in I'} X_{ijvk} + Y_{ijvk} \geq 1 \quad j=1,2,\dots,N \quad (2b)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N Q_{ij} (\sum_{(i,j) \in A} X_{ijvk}) \leq C_v \quad v=1,2,\dots,V \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{Kv} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N (tc_{ij} + td_{ij}) X_{ijvk} + \sum_{k=1}^{Kv} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N td_{ij} Y_{ijkv} \leq T_{vk} \quad v=1,2,\dots,V \quad (4)$$

$$\sum_{j \in I} X_{ijvk} - \sum_{j \in I'} X_{jivk} + \sum_{j \in I} Y_{ijvk} - \sum_{j \in I'} Y_{jivk} = 0 \quad (5)$$

$$v=1,2,\dots,V; k=1,2,\dots,K_v; i=1,2,\dots,N \quad j=1,2,\dots,N$$

$$X_{ijvk} \geq 0 ; Y_{ijkv} \geq 0 \quad (6)$$

El objetivo de un problema de asignación de rutas de vehículos en un sistema de recolección es minimizar la distancia total recorrida y recorrerla en el menor tiempo posible.

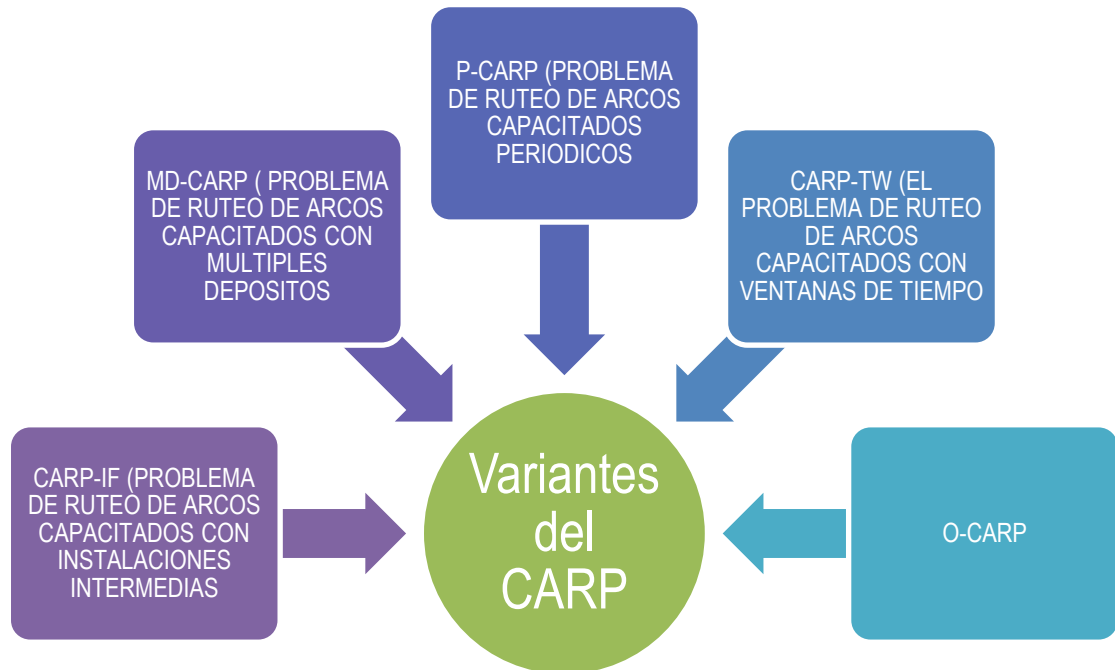
El primer grupo de restricciones (variable X_{ijvk}) van hacer recorridos una sola vez con dos tipos de restricciones: cuando la red es simétrica (1a), y otra cuando la red es asimétrica (1b). la restricción número 2 describe que cada nodo es visitado al menos un sola vez por un solo vehículo y garantiza el número de vehículos que entran y salen de cada nodo de la red; la restricción (3) la capacidad de la flota de vehículos; la restricción (4) limita el tiempo total de recolección disponible en un día; la restricción (5) garantiza que el vehículo que abandona el nodo es el mismo que ingresa al nodo, lo que quiere decir que un nodo puede ser visitado por un solo vehículo; la restricción (6) garantiza que las variables son enteras y no negativas; la idea es que cada arco se repita en la solución tantas veces como sea necesario hasta que el modelo alcance un valor óptimo.

“Para garantizar un tour Euleriano debe ser conectada para que el recorrido inicie cerca al garaje y finalice cerca al sitio de disposición final; además se debe crear un arco ficticio (i,j) también llamado arco de tránsito, los valores de distancia, demanda, y tiempo de carga debe ser cercano a cero, de tal forma que en los resultados la incidencia sea mínima”.³³

³³ HERNÁNDEZ, José; TORRES Gonzalo. Revista de ingeniería. Universidad de los Andes. [online]. 2001. No.13, pp 5-11. [en línea] Disponible en: <<http://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/541>> ISSN 0121-4993.

3.5.1 Extensión del CARP.

Figura 11. Variantes del CARP

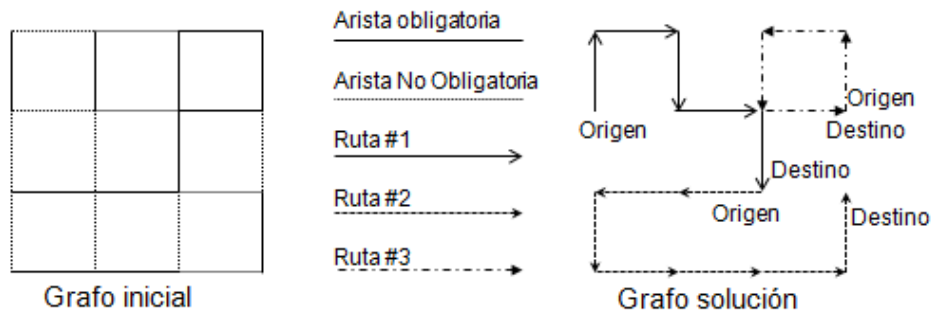


3.5.1.1 Open Capacitated Arc Routing problem OCARP: Extensión del CARP y se diferencia, en que la restricción de la ruta deben empezar y terminar en el depósito es omitida; algunos ejemplos de aplicación se encuentran, la determinación de la ruta que debe seguir la persona que registra el consumo de agua o luz (lector de registros), la determinación de patrones de corte, el transporte de estudiantes a las escuelas.

Para su solución se han propuesto métodos exactos basados en programación matemática, al tratarse de un problema NP – Hard, se usan métodos más complejos enfocados a las metaheurísticas, como GRASP, PATH RELINKING y algoritmos Meméticos.

3.5.1.2 Definición del OCARP: La Figura 12 presenta una instancia de un problema OCARP y una solución. El problema se puede definir sobre un grafo $G = \{V; A\}$, donde $V = \{0, 1, \dots, n\}$ es el conjunto de vértices y A es el conjunto de aristas cuyos vértices de inicio y final pertenecen a V . Dentro de A existe un sub conjunto de aristas $O \subset A$ que se requieren servir, es decir son arcos que se deben recorrer de manera obligatoria al menos una vez. Para servir los arcos obligatorios se cuenta con un conjunto $K = \{1, 2, \dots, m\}$ de vehículos idénticos. Cada arco tiene una demanda d_A y un costo I_A en el que se incurre al ser cruzado por algún vehículo. Por su parte, cada vehículo tiene una capacidad Q para satisfacer la demanda d_A de las aristas visitadas.

Figura 12. Ejemplo de una instancia OCARP y una solución.



Fuente: MACÍAS, B. J., & AMAYA, C. A. Algoritmo memético con operadores de inteligencia artificial para el CARP con inicio y fin no determinado y bi-objetivo. Ingeniería y Ciencia, 12(23), 25 2016.

El objetivo es determinar un conjunto de rutas $A_R = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ donde cada ruta representa un ordenado de aristas, las rutas deben satisfacer las restricciones del CARP, pero omitiendo que el vehículo llegue o salga de un punto determinado, es decir no es obligatorio que el vehículo salga del depósito.³⁴

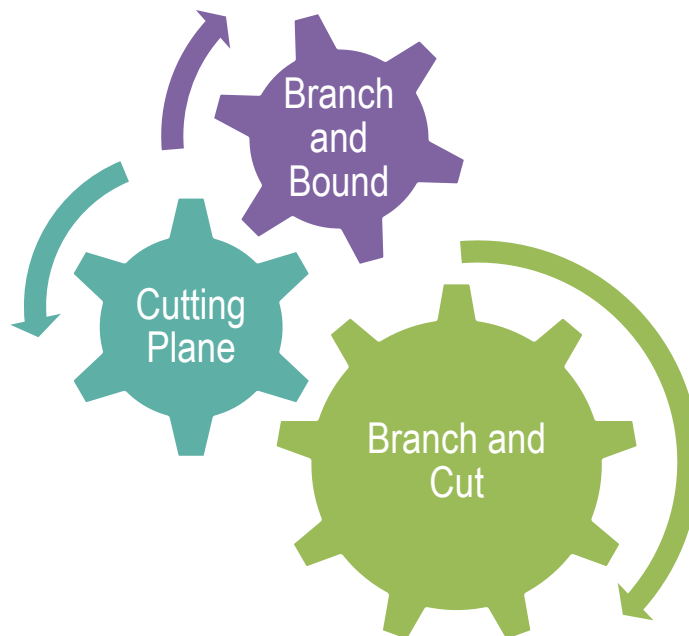
³⁴ MACÍAS, B. J., & AMAYA, C. A. Algoritmo memético con operadores de inteligencia artificial para el CARP con inicio y fin no determinado y bi-objetivo. Ingeniería y Ciencia, 12(23), 25 2016

3.6 PROPUESTAS PARA RESOLVER CARP

3.6.1 Métodos exactos. Son pertenecientes a la formulación como modelos de programación lineal y llegan a una solución factible entera, por medio de algoritmos de acotamiento.

El CARP se considera NP-HARD, aunque tenga esta consideración se han propuesto algoritmos de resolución exacta basados en programación lineal entera (PLE); Es importante aclarar que el tamaño de las instancias resueltas es inferior en comparación con los resultados de métodos heurístico y Metaheurísticos. Entre los más usados:

Figura 13. Métodos exactos.



3.6.1.1 Branch and bound: Branch and Bound (separar y sonder) se considera un método exacto para encontrar solución de un problema lineal con variables enteras (PLE) o enteras mixtas (PLEM).

El algoritmo de ramificación y acotamiento pertenece a una variedad de estrategias de partición para resolver modelos de optimización, se encarga de mantener un límite inferior y superior (global) del valor óptimo de la función objetivo, pero tiene una dificultad que la solución puede tardarse mucho tiempo, el proceso se hace lento, es decir el esfuerzo crece exponencialmente con el tamaño del problema.

El problema consta de dos procesos En el proceso de ramificación tendremos en las ramas finales del árbol, todas las soluciones factibles enteras del problema original. Sin embargo, un nodo del árbol puede no requerir más ramificaciones, en cuyo caso se dice que se acota (poda) esa rama. Esto ocurre porque el problema en el nodo es infactible por lo que todos los subproblemas generados a partir de él serán infactibles también.³⁵

Existen diversos métodos de resolución exacta, entre ellas el uso de técnicas de Brach and Bound utilizando dos algoritmos, el algoritmo de construcción de caminos (TCA) Y el algoritmo de eliminación de subciclos (SEA). Y consiste en ambos algoritmos un nodo de árbol de búsqueda corresponde a una solución parcial con ciertos arcos fijados en la solución y otros permanentemente eliminados; además se utiliza el procedimiento de acotación conocido como cota inferior por duplicación de nodos (NDLB).

³⁵ HERNÁN, Jaime. Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. [en línea] Disponible en: <file:///C:/Users/user/Downloads/Dialnet-DisenoDeUnModeloDeOptimizacionDeRutasDeTransporte-3686917.pdf>

3.6.1.2 Branch and cut: El algoritmo de ramificación, se considera una generalización del método de Branch and Bound de ramificación y acotamiento; emplea una combinación de planos de corte y enumeración implícita para resolver problemas.

3.6.2 Métodos heurísticos. En concepto un heurístico es “procedimiento simple, a menudo basado en el sentido común, que se supone que ofrecerá una buen solución (aunque no necesariamente la óptima) a problemas difíciles, de un modo fácil y rápido”³⁶

Los heurísticos son utilizados cuando por ejemplo no existe un método exacto como solución o sus tiempos de resultados óptimos son muy extensos, cuando hay limitaciones de tiempo, o como un simple paso inicial de ofrecer una solución, para luego obtener otra por medio de otra técnica.

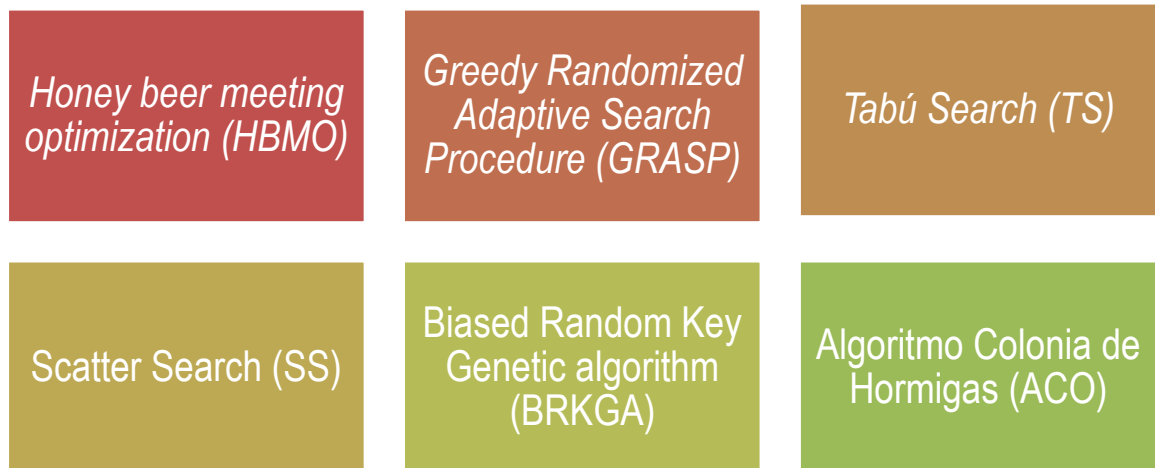
Figura 14. Métodos Heurísticos



³⁶ ZANAKINS, S. H. EVANS, J. R. Heuristic ‘Optimization’: Why, When and How to Use It’. Interfaces. Vol. 11(5) 1981

3.6.3 Métodos metaheurísticos. Las metaheurísticas, son procedimientos que aunque no logre una optimización total, se asemeja al más óptimo; son utilizadas cuando los problemas son considerados NP- hard que no dan solución con métodos exactos, por tanto necesita de mayor esfuerzo computacional. Se diferencia de las técnicas heurísticas porque tratan de huir de óptimos locales, guiando la búsqueda en cada instante dependiendo del progreso del proceso de búsqueda; además las metaheurísticas son usadas en problemas de optimización combinatoria especialmente en las variables de decisión enteras o discretas. El modo de operación consiste en que parte de una solución o conjunto de soluciones que no son óptimas, a partir de éstas se obtienen unas similares, de entre las cuales se elige una que satisface algún criterio, a partir de la cual comienza de nuevo el proceso y finaliza cuando cumple una condición establecida anteriormente.

Figura 15. Método Metaheurísticos. Elaboración propia



3.7 MARCO LEGAL

El ministerio de vivienda, ciudad y territorio mediante el decreto número 2981 del 2013 Determina:

Artículo 8. Cobertura. Los municipios o distritos, deben garantizar la prestación del servicio de aseo a todos sus habitantes dentro de su territorio por parte de las personas prestadoras de servicio público de aseo independientemente del esquema adoptado para su prestación. Para ello deberá planificarse la ampliación permanente de la cobertura teniendo en cuenta, entre otros aspectos el crecimiento de la población y la producción de residuos.

Artículo 22. Sitios de ubicación para la presentación de los residuos sólidos. La presentación de los residuos se podrá realizar, en la unidad de almacenamiento o en el andén en el caso de multiusuarios. Los demás usuarios deberán presentarlos en el andén del inmueble del generador, salvo que se pacte con el prestador otro sitio de presentación.

Artículo 23. Obligación de trasladar residuos sólidos hasta los sitios de recolección. En el caso de urbanizaciones, barrios o agrupaciones de viviendas y/o demás predios que por sus condiciones impidan la circulación de vehículos de recolección, así Como en situaciones de emergencia, los usuarios están en la obligación de trasladar los residuos sólidos hasta el sitio determinado por la persona prestadora del servicio público de aseo, particularidad que deberá reflejarse en menores tarifas.

En estos casos, la persona, prestadora del servicio público de aseo deberá determinar los sitios de recolección de los residuos, los horarios y frecuencias de recolección, de tal manera que se evite la acumulación prolongada de los residuos en el espacio público.

Artículo 28. Requisitos de la actividad de recolección. La actividad de recolección se realizará observando entre otros los siguientes requisitos: La recolección deberá efectuarse de modo tal que se minimicen los impactos, en especial el ruido y se evite el esparcimiento de/residuos en la vía pública, cumpliendo la normativa vigente. En caso de que se esparzan residuos durante la recolección, es deber de la persona prestadora realizar inmediatamente la limpieza correspondiente dejando el área libre de residuos para mantener la condición de limpieza de la misma. Para garantizar la actividad de recolección, las personas prestadoras deberán contar con los equipos y mecanismos suficientes que garanticen la suplencia en los casos de averías y el mantenimiento de los mismos. Estos equipos deberán cumplir con las características de los vehículos recolectores definidas en este decreto. El servicio de recolección de residuos no podrá ser interrumpido por fallas mecánicas. La operación de compactación deberá efectuarse en zonas donde causen la mínima molestia a los residentes. En ningún caso esta operación podrá realizarse frente a centros educativos, hospitales, clínicas o cualquier clase de centros asistenciales. Los lixiviados almacenados en el vehículo que se originen durante la Recolección y transporte de los residuos sólidos ordinarios serán depositados en el sitio de disposición final para su respectivo tratamiento.

Artículo 29. Sistemas de recolección. La recolección de residuos debe realizarse a partir de su presentación en la acera, unidades de almacenamiento o cajas de almacenamiento. Cuando existan, restricciones de acceso para los vehículos recolectores, el prestador, previa evaluación técnica, podrá realizar la recolección

utilizando cajas de almacenamiento, o cualquier sistema alternativo que garantice su recolección.

Artículo 31. Establecimiento de macro-rutas y micro-rutas. Las personas prestadoras del servicio público de aseo deberán establecer las macrorutas y micro-rutas que deben seguir cada uno de los vehículos recolectores en la prestación del servicio, de acuerdo con las necesidades y cumpliendo con las normas de tránsito. Estas rutas deberán diseñarse atendiendo a la eficiencia en la asignación de recursos físicos y humanos.

Para el diseño de macro-rutas y micro-rutas deberá tenerse en cuenta, entre otros aspectos, los siguientes: Tipo de vías existentes (principales y secundarias, con separadores, estado de la vía) en los municipios y de alto tráfico vehicular y peatonal. Uso del suelo (residencial, comercial, industrial, etc.). Ubicación de hospitales, clínicas y entidades similares de atención a la salud, así como entidades asistenciales: Recolección en zonas industriales. Zonas de difícil acceso. Tipo de usuario o generador. Ubicación de áreas públicas como plazas, parques o similares. Presencia de barreras geográficas naturales o artificiales. Tipo de residuos según sean aprovechables o no aprovechables.

Artículo 32. Horarios de recolección. La persona prestadora del servicio público de aseo determinará el horario de la recolección de los residuos sólidos teniendo en cuenta la cantidad de residuos generados, las características de cada zona, la jornada de trabajo, el clima, la capacidad de los equipos, las dificultades generadas por el tráfico vehicular o peatonal y cualquier otro elemento que pueda tener influencia en la prestación del servicio. Parágrafo. Cuando la recolección se efectúe entre las 21:00 horas y las 06:00 horas del día siguiente en zonas residenciales, hoteles, hospitales, clínicas y demás centros asistenciales deberán tomarse medidas especiales para mitigar el ruido en la recolección y la compactación.

Artículo 33. Frecuencias de recolección. La frecuencia de recolección dependerá de la naturaleza y cantidad de generación de residuos, de los programas de aprovechamiento de la zona, cuando haya lugar a ello, y características del clima, entre otros. En el caso de servicios a grandes generadores, la frecuencia dependerá de las cantidades y características de la producción. Parágrafo. La frecuencia mínima de recolección y transporte de residuos no aprovechables será de dos (2) veces por semana.

Artículo 35. Cumplimiento de las rutas. Las rutas y horarios deberán ser cumplidas por las personas prestadoras del servicio público de aseo de conformidad con los contratos de prestación del servicio público de aseo. Todo cambio en las rutas, horarios o frecuencias deberá ser comunicado con tres (3) días de anterioridad a los usuarios afectados, salvo caso fortuito o de fuerza mayor, utilizando medios masivos de difusión de amplia circulación local y página web cuando se disponga de ella. En caso de presentarse averías en un vehículo del servicio, deberá enviar el auxilio mecánico o reemplazarlo con el equipo de suplencia de conformidad con lo establecido en este decreto, restableciendo el servicio en un término máximo de tres (3) horas a partir del momento en que se presente la avería. Sólo podrá suspenderse el servicio por motivos de fuerza mayor o caso fortuito, debidamente comprobados.

Artículo 37. Características de los vehículos de recolección y transporte de residuos sólidos. Los vehículos para la prestación del servicio de aseo, empleados en las actividades de recolección y transporte de residuos con destino a disposición final, deberán tener, entre otras, las siguientes características: Los vehículos recolectores deberán ser motorizados, y estar claramente identificados (color, logotipos, placa de identificación, entre otras características). En los municipios o distritos con más de 5.000 usuarios en el servicio público de aseo, deberán estar provistos de equipo de comunicaciones. En los distritos o municipios con más de 5.000 usuarios en el servicio público de aseo, deberán

contar con equipos de compactación de residuos. Se exceptúan aquellos que se destinen a la recolección de residuos separados con destino al aprovechamiento, manejo de residuos de construcción y demolición y otros residuos que no sean susceptibles de ser compactados.

Las cajas compactadoras de los vehículos destinados a la recolección y transporte de los residuos sólidos con destino a disposición final, deberán ser de tipo de compactación cerrada, de manera que impidan la pérdida del líquido (lixiviado), y contar con un mecanismo automático que permita una rápida acción de descarga. Los equipos deberán posibilitar el cargue y el descargue de los residuos sólidos almacenados de forma tal que evite la dispersión de estos y la emisión de partículas. En los vehículos que no utilicen caja compactadora, los residuos sólidos deberán estar cubiertos durante el transporte, de manera que se reduzca el contacto con la lluvia, el viento y se evite el esparcimiento e impacto visual. Así mismo, deberán estar provistos de mecanismos que eviten la pérdida del líquido (lixiviado).

Artículo 41. Recolección de residuos acumulados por el barrido manual de calles. La recolección y el transporte de los residuos sólidos provenientes del barrido manual de calles deben efectuarse por la persona prestadora del servicio de público de aseo en su área de prestación del servicio. Los residuos' de barrido no podrán permanecer en las calles por más de ocho (8) horas una vez se hace la presentación para transportarlos.

Artículo 42. Recolección de residuos de poda de árboles y corte de césped. La recolección y transporte de los residuos sólidos originados por poda de árboles o arbustos, y corte del césped en áreas públicas, deberá realizarse por una persona.

Artículo 51. Características de las bases de operación. Las personas prestadoras del servicio público de aseo que presten el servicio en municipio o distritos mayores de 5.000 usuarios deberán tener base de operación, las cuales deberán

ubicarse de acuerdo con lo definido en las normas de ordenamiento territorial y cumplir con las siguientes características: Contar con áreas adecuadas para el parqueo y maniobra de los vehículos, depósito de insumos para la prestación de servicio, zona de control de operaciones, vestidores e instalaciones sanitarias para el personal, y oficinas administrativas.

Parágrafo 2. Las personas prestadoras de la actividad de aprovechamiento que requieran menos de tres (3) vehículos para la prestación del servicio no están obligadas a contar con base de operaciones.³⁷

³⁷ COLOMBIA. Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. Decreto número 2981 del 2013.(Diciembre 20)

4. APLICACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN BRACH AND BOUND A LA PROGRAMACIÓN DE RUTAS EN ECONATURAL S.A E.S.P

4.1 ELEMENTOS A CONSIDERAR PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RUTAS

4.1.1 Clientes. a Junio de 2015 se encuentran activos 12147 aproximadamente en el municipio de Girón, se dice que es una aproximación debido a que en el transcurso de los meses del año 2015 y 2016, se han realizado desvinculaciones del servicio en barrios, como Castilla Real 1, Santa Cruz entre otras, debido a la insatisfacción del servicio de recolección de residuos sólidos, incumpliendo con los horarios establecidos de recogida, y dejando los desechos a largas horas de exposición contaminando el medio ambiente y la salubridad de la comunidad. Se entiende como cliente toda persona que adquiere el servicio mediante un contrato con la empresa prestadora.

La clasificación de los usuarios se estima a partir de la actividad económica que desarrolle, Los GPI (grandes productores industriales) son lo que generan en mayor cantidad residuos sólidos. Seguido de los PPO (Pequeños productores oficiales) y PPC (pequeños productores comerciales), los estratos 1, 2, 3, 4; tienen la tendencia más baja en la generación de basuras.

Econatural S.A E.S.P cuenta con usuarios en la mayoría de estratos 1,2,3,4, seguido de los pequeños productores comerciales: Asaderos, supermercados, tiendas de barrio y algunas industrias como Grandes productores industriales, ubicadas en la zona industrial chimitá.

Para la inserción de nuevos usuarios el proceso a seguir, es seleccionar los hogares nuevos mediante una lista que la entidad Acueducto Metropolitano de Bucaramanga les facilita periodicamente. La planificación comienza desde que la asesora comercial empieza con los procesos de reclutamiento de usuarios, haciendo diversas visitas a las nuevas familias que habitan en el municipio de Girón y a las nuevas edificaciones de los sectores, informando y convenciendo a los usuarios con el portafolio de servicios y tarifas de Econatural S.A E.S.P

ANEXO F.

Una vez la asesora realiza las visitas correspondientes y convence a los nuevos usuarios de afiliarse a Econatural S.A E.S.P procede a ingresarlos a una base de datos en Excel; seguido de un procedimiento de afiliación, diligenciando un contrato donde especifica las condiciones del servicio, el tiempo, la tarifa entre otros aspectos.

Tabla 7. Usuarios actuales de Econatural S.A E.S.P.

SECTOR	
ARBOLEDA	11
GUAYACANES	29
SAN JUAN	70
SANTA CRUZ	967
1 DE MAYO	106
ALDEA	33
ALICANTE	27
ALMENARES DE SAN JUAN	45
ALTOS DE AREALES	372
ALTOS DE LA CAMPIÑA	31
ALTOS DE SAN ANTONIO DEL CARRIZAL	486
ALTOS DEL LLANITO	25
ALTOS DEL TEJAR	157
ANGULITO	3

SECTOR	
ARBOLEDA	11
ARENALES 2,4	359
ARENALES CAMPESTRE	201
BALCONES DEL PORTAL	42
BALCONES DE GALICIA	18
BELLAVISTA	1
BRISAS DEL CAMPO	32
CARRIZAL CAMPESTRE	223
CASA LINDA	63
CASTILLA REAL 1	99
CASTILLA REAL 2	264
CENTRO	179
VILLAMIL	403
CIUDADELA COMFENALCO	20
CORVIANDI 1	124
CORVIANDI 3	182
EL CARRIZAL	216
CONSUELO	395
EL GALLINERAL	198
EL LLANITO	20
EL PARAÍSO	155
EL POBLADO	781
PORTAL 1	78
TEJAR	162
ELOY VALENZUELA	238
GIRÓN CAMPESTRE	21
INDUSTRIAL CHIMITA	55
JARDÍN DE ARENALES	221
LA CAMPIÑA	323
LA ESMERALDA	26
LA HACIENDA	106
LA MESETA 2, 3	198
LA MURALLA	2
LA RINCONADA	2

SECTOR	
LA RIVERA	2
LOS CAMBULOS	31
MIRADOR DE ARENALES	82
MORADA DE SAN JUAN	30
MURALLA	68
PORTAL 2	55
PORTAL CAMPESTRE	664
PRIIO PRADO	566
PROGRESO	31
QUINTAS DE LLANITO	72
QUINTAS DE SAN ISIDRO	24
RINCÓN DE GIRÓN	1310
RINCONADA	1
RIO DE ORO	405
RIO DE ORO II	84
SAGRADO CORAZÓN	27
VEREDA CARRIZAL	3
VEREDA LAGUNETA	5
VEREDA LAGUNETA	5
VIDA DE PRIMAVERA	19
VIILLAS DE SAN JUAN	538
VILLA CAMPESTRE	594
VILLA CAROLINA	165
VILLA LINDA	41
VILLA PAULA	1
VILLAMIL	1
VILLAMPIS	9
VILLAS CAMPESTRE	2
RIO FRIO FINCA LA ESPERANZA/VEREDA	1
LA CONSTITUYENTE	4
HACIENDA LA MESETA	2
GIRALUZ	6
ELIECER FONSECA	3
EL BOSQUESITO	1

SECTOR	
EL PALENQUE	1
KM 7 VÍA GIRÓN	1
QUINTAS CAMPESTRE	2

4.1.2 Fuerza laboral. En la siguiente tabla se relaciona el personal del sistema de producción en el municipio de Girón

Tabla 8. Recurso humano

ÁREA	PERSONAL	NÚMERO
ADMINISTRATIVO	Gerente General	1
	Asistente PQR	1
OPERATIVA	Supervisor de Rutas	1
	Conductores	2
	Operarios de recolección y barrido	15

El horario de inicio de operaciones, comienza a las 4:15 a.m., en la bomba ubicada en la zona industrial Chimitá, donde se realiza el proceso de suministro de combustible a los vehículos y se movilizan para iniciar ruta a los lugares asignados; los operarios de recolección y conductores por norma trabajan ocho horas diarias, una vez cumplida esta intensidad horaria procede a contabilizarse horas extras, aproximadamente, en total laboran diez horas diarias cada trabajador.

De acuerdo a la información observada en el trabajo de campo, el personal tiene un tiempo entre 10 y 15 minutos en toda la jornada laboral, para realizar actividades de alimentación y descanso.

4.1.3 Recolección de residuos sólidos. La recolección se realiza por parte de los operarios de recolección; por temas de contaminación lo ideal es que la recolección se realizara puerta a puerta, pero debido a que ciertas calles del municipio son estrechas, el cual impide el paso del camión para realizar la operación, es por ello que los operarios recogen los residuos y los ubican en sitios estratégicos para su posterior recolección y una vez logra la capacidad máxima del camión compactador se dirigen al sitio de disposición final ubicado en la vía Girón- Bucaramanga.

El tiempo de espera del proceso de recolección puerta a puerta desde las viviendas de los usuarios a los sitios estratégicos o puntos de recolección y recogida de los desechos por parte del camión, es variable ya que implican factores como retrasos en el inicio de operaciones, daños mecánicos y eléctricos de los vehículos, ausencia del recurso humano; entre otros. Por consiguiente, tiene efectos negativos en el tiempo de la prestación del servicio.

4.1.4 Recursos involucrados

4.1.4.1 Flota vehicular: La Asignación de vehículos se realiza de la siguiente forma, Un conductor tiene vehículo fijo para el desarrollo de la operación, el segundo conductor tiene asignado 2 vehículos, distribuidos de la siguiente forma: conduce primero el vehículo compactador en recolección de residuos sólidos y reciclaje hasta terminar la ruta y en adelante con vehículo volqueta en recolección de servicios especiales “poda”; para un total de 3 vehículos y 2 conductores. Finalizada la operación se trasladan a una base ubicada entre la vía café Madrid y anillo vial llamada “móvil bascula”, donde reposan hasta al otro día para de nuevo iniciar las operaciones. La flota vehicular para la solución del modelo matemático se considera Homogénea, con una capacidad Máxima de 13 Toneladas.

Asignación de rutas. Econatural S.A E.S.P selecciona la organización de los barrios para recolección por medio de 5 rutas preestablecidas; puesto que se actualiza cada vez que ingresan nuevos usuarios; aunque pocas veces se modifican ya que por lo general las nuevas afiliaciones provienen de los barrios ya establecidos, solo se modifica en el caso de ingresar usuarios de nuevas edificaciones, nuevos sectores industriales o comerciales. **ANEXO G.** Rutas de recolección ECONATURAL S.A E.SP

El criterio de asignación de rutas por parte de la empresa, sigue los siguientes lineamientos:

- Según cumplimiento de la norma, decreto 2981 de 2013, el cual dice que una empresa recolectora de basuras mínimo debe operar con dos frecuencias. **ANEXO H.** Decreto 2981 de 2013
- Comercialización- Competencia: actualmente su potencial competidor a nivel del municipio de Girón es Caralimpia S.A. E.S.P el cual posee tres frecuencias, por tanto, la empresa para competir por usuarios optó por estandarizarse al mismo nivel, para lograr permanencia y crecimiento en el mercado de recolección de basuras.
- Las rutas se van modificando a medida que van ingresando usuarios, por política de la empresa para entrar a un sector como mínimo debe registrar el 70% de afiliaciones del sector para iniciar operaciones. Se entiende por sector a los barrios del municipio.
- La directriz importante para la agrupación de los barrios de las respectivas rutas, se realiza teniendo en cuenta las distancias para facilitar la recolección por parte de los operarios y por cuestiones de ahorro de tiempo, distancia y combustible.

Establecidas las rutas y plasmadas en Excel, se imprimen para ser entregadas a los conductores como guía de trabajo diario.

Resumen diario operativo – Monitoreo. Una forma de llevar el control o supervisión del trabajo diario de los conductores, operarios de recolección y barrido es por medio de unas planillas de control diario operativo; donde se registran formatos de reporte diario de supervisión (novedades de vehículos, novedades del personal, brigadas de barrido para mejoramiento, actividades diarias.), reporte diario de recolección(hora, ruta, zona, kilometraje, tonelaje, datos del vehículo, hora de iniciación y finalización de la operación, suministro de combustible, mantenimiento del vehículo), inspección del servicio de barrido e inspección del servicio de recolección y transporte; labor que controla el supervisor de rutas.

4.1.5 Ubicación de calles. El proyecto abarca la recolección de residuos urbanos por cada calle y es necesario la georeferenciación de éstas, para posteriormente determinar las distancias por cada arista ya que el algoritmo parte de la matriz de distancias. Para realizar el proceso de la captación de distancias se invirtió mucho tiempo por la complejidad.

4.1.6 Mapas. La información de obtención de mapas del municipio de Girón fue administrada por el grupo de investigación de Geomática de ingeniería Civil de la universidad industrial de Santander correspondiente al año 2010; con esta información, utilizando el software ArcGis 10.3.1 y el seguimiento presencial de los vehículos, donde finalmente se ajustaron las orientaciones y sentido de vías; se diseñaron los mapas. Se crearon dos conjuntos de mapas, una cartografía que ilustran el trayecto de recorrido actual que realizan los vehículos recogiendo los residuos sólidos por cada ruta con su respectivo tiempo de recolección por cada calle; y otro conjunto de mapas donde ilustra la orientación y sentido de las calles

y la longitud entre las mismas informaciones necesarias para la realización de las matrices de tiempos y distancias.

Con la biblioteca de mapas se presentaron algunos inconvenientes como ausencia de barrios o sectores no georeferenciados, por consiguiente, éstos quedaron excluidos de los trayectos de recolección; se pretendió buscar otra base de datos pero fue imposible encontrarla ya que las entidades encargadas como la Dirección de Tránsito y Transportes y la Oficina de Planeación del municipio de Girón no suministraron la información debido a la desactualización de la red vial.

4.1.6.1 Sentido y distancias de las vías: Para la consecución del sentido de las vías se invirtió gran parte del tiempo estipulado, inicialmente se acudió a la secretaria de Tránsito y Transporte de Girón para que facilitara la información del sentido y orientación de las calles del municipio, pero la información que suministró la entidad no correspondía a lo solicitado; finalmente se obtuvieron dichas orientaciones, en primera instancia con ayuda del cálculo del software ArcGis 10.3.1, por el seguimiento de rutas verificando el sentido de las vías y adicionalmente por un trabajo que se realizó en la empresa de medición manual con un instrumento de medición llamado omnómetro, para estipular la longitud del proceso de barrido de vías por sector; se concluye que las distancias de barrido en un 80% son similares a las distancias de recolección de desechos, así se logró consolidar el sentido y distancias de las vías.

4.1.6.2 Restricciones de tránsito: De acuerdo al decreto 0076 de 2008, se define las siguientes restricciones de tránsito:

- “Prohíbese en el casco antiguo de la jurisdicción del municipio de Girón el tránsito o parqueo de vehículos tipo bus, Buseta y Microbús con excepción de los que prestan su servicio de transporte público terrestre automotor colectivo

de pasajeros y los vehículos de servicios públicos (aseo), debidamente autorizados por la autoridad Municipal o Metropolitana de Transporte.

- Exceptúese de la presente disposición los siguientes vehículos: los vehículos prestadores del servicio de aseo, agua, luz, alcantarillado y afines, los cuales deberán ingresar única y exclusivamente para efectos de prestar los servicios antes mencionados.
- Que actualmente existe un acto administrativo que prohíbe el parqueo total sobre la carrera 26 entre calles 31 y 34 del casco urbano.³⁸
- Que no existe por parte de la oficina asesora de planeación de la Alcaldía Municipal, viabilidad del uso del suelo para el funcionamiento de parqueaderos privados para vehículos con capacidad superior a diez (10) toneladas en el casco urbano residencial del Municipio San Juan de Girón.
- La circulación de vehículos tipo camión rígido de volquetas con capacidad para más de doce (12) toneladas, tracto camiones, unidades tractoras o vehículos articulados en las vías urbanas del casco urbano del Municipio San Juan de Girón delimitadas por la vía florida-Palenque, vía aeropuerto-Palenque y barrio Bahondo o salida hacia Zapatoca.
- Exceptúese de la anterior restricción a los vehículos que transitan desde el municipio de Zapatoca por la carrera 26 hasta la avenida los Caneyes, para salir al anillo vial (vía Floridablanca – Palenque) o viceversa, como vías principales urbanas en enlace con esa región.

³⁸ GIRÓN. ALCALDÍA SAN JUAN DE GIRÓN. Decreto 00076 (21, Febrero, 2008). Por medio del cual se prohíbe en el casco antiguo de Girón el tránsito o parqueo de vehículos tipo camioneta, camión rígido, tracto camión, unidad tractora, vehículo articulado, volquetas y se dictan otras disposiciones. Girón: Alcaldía de San de Girón, 2008. 2p

- Prohibir el parqueo en vía pública de vehículos tipo camión rígido y volquetas, bus, tracto camión, unidad tractora o vehículos articulados en las vías urbanas del casco urbano del municipio San Juan de Girón delimitadas por la vía Floridablanca-palenque, vía Aeropuerto-Palenque y salida hacia Zapatoca.
- Exceptúese de la prohibición anterior a los vehículos prestadores del servicio de aseo, agua, luz, alcantarillado y afines, los cuales deberán ingresar única y exclusivamente para efectos de prestar los servicios antes mencionados.
- El incumplimiento del presente decreto se sancionará de acuerdo a lo estipulado en la ley 769 de 2002, artículos 76 y 131, literal C numeral 2, con multa equivalente a quince (15) salarios mínimos diarios legales vigentes a la fecha de la infracción”.³⁹

4.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo se aplica al sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el municipio de Girón, con el fin de lograr la optimización de tiempos de recolección, distancias recorridas, mano de obra, cantidad de vehículos; para efectos del proyecto se pretende optimizar tiempos de recolección; en el proceso de Optimización puede que se presenten diferencias entre lo real y los resultados arrojados.

³⁹ GIRÓN. ALCALDÍA SAN JUAN DE GIRÓN. Decreto 032 (19, Febrero, 2009). Por medio del cual se prohíbe en el casco urbano del municipio de San Juan de Girón el tránsito y estacionamiento de vehículos tipo camión rígido, volquetas, buses, tracto camión, unidades tractoras y vehículos articulados y se implementa la respectiva señalización. Girón: Alcaldía de San de Girón, 2009. 2p

Para el desarrollo del modelo de optimización se tiene un conjunto de aristas y vértices de 46 sectores del municipio de Girón para atender 12147 usuarios con cuatro rutas y tres frecuencias de recolección: Lunes, Miércoles, Viernes – Martes, Jueves, Sábados.

Debido a la necesidad de ordenamiento de rutas, preservación del medio ambiente y satisfacción del usuario se pretende hallar la ruta que recorra todas las aristas al menos una sola vez, buscando que el Tiempo total de la ruta sea mínimo.

4.2.1 Características del problema. Es un problema de recolección de residuos en la acera (ARP - Arc Routing Problem), donde el grafo es dirigido, completo (inicialmente) y matrices tanto simétricas como asimétricas (trasladarse por el arco en sentidos contrarios). Adicionando que los arcos X_{ij}, Y_{ij} están asociados a una capacidad Q_{ij} de demanda Además se considera que algunos arcos de la red incluso no se transiten, otros se recorran y otros se sirvan (recojan los residuos). Se formula el problema considerando el estado de las vías, y el análisis de la operación del sistema de Recolección de Residuos sólidos de la empresa, simplificando el problema a un ruteo de arcos con capacidad abierta, donde el nodo origen es diferente al nodo destino.

4.2.2 Formulación del modelo propuesto. A continuación, se especifican los índices, parámetros y variables del modelo. Inicialmente se parte de un modelo de programación lineal entera binaria (PLEB) donde sus variables X_{ij}, Y_{ij} , se consideran binarias, CARP (capacitated arc Routing problema) grafo completo y dirigido, contemplado inicialmente.

Tabla 9. Índices y variable CARP

INDICES		VARIABLES	
i	Índice que determina el nodo de inicio del arco dirigido (cada arco es una calle y es dirigido al considerarlo que puede ser recorrido en un sentido específico).	x_{ijk}	Toma el valor de 1 si se recolecta la demanda del arco (ij) con el vehículo K
j	Índice que determina el nodo de finalización del arco dirigido.	y_{ijk}	Toma el valor de 1 si se recorre el arco (ij) con el vehículo K. El recorrer significa que no se recoge en ese arco, o sea se usa el recorrido para llegar a otro arco de recolección.
k	Índice asociado con el vehículo o ruta que transita el arco.		

Tabla 10. Parámetros CARP

PARAMETROS	
V:	Número de vehículos disponibles
W	Capacidad de los vehículos
Q_{ij}	número asociado a que se recoge en el arco (ij)
TC_{ij}	Tiempo de carga o recolección en el arco
TD_{ij}	Tiempo de desplazamiento en el arco (i,j)
T	Máximo tiempo a emplear en el recorrido de la ruta

Función objetivo

Minimizar $\sum_k \sum_i \sum_j (TC_{ij} * X_{ijk} + TD_{ij} * Y_{ijk})$

Sujeto a:

$$\sum_k X_{ijk} + \sum_k X_{jik} \leq 1 \quad \forall \text{arco}(i, j) \quad (1)$$

$$\sum_k MX_{ijk} + \sum_k MX_{jik} \geq Q_{ij} \quad \forall \text{arco}(i, j), i \neq j \quad (2)$$

$$\sum_j X_{ijk} + \sum_j Y_{ijk} - \sum_j X_{jik} - \sum_j Y_{jik} = 0 \quad \forall k, \forall i \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j Q_{ij} * Y_{ijk} \leq W \quad \forall j, \forall k \quad (4)$$

$$\sum_j (X_{0jk} + Y_{0jk}) = 1 \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j TC_{ij} * X_{ijk} + \sum_i \sum_j TD_{ij} * Y_{ijk} \leq T \quad \forall k \quad (6)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall k \quad (7)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, Y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (8)$$

Explicación de las restricciones del modelo. La función objetivo minimiza el tiempo tanto para recolectar como de recorrido. La expresión (1) para cada arco (i, j) permite seleccionar máximo una forma de recoger su demanda. La expresión (2) garantiza que un arco con demanda positiva, sea transitado recolectándole dicha demanda. La expresión (3) permite la continuidad en la ruta ya sea por un tránsito para recoger o recorrer. La expresión (4) controla que la demanda recogida acumulada no exceda la capacidad del vehículo. La expresión (5) muestra que del depósito cada vehículo debe salir o para recoger o para recolectar una sola vez. La expresión (6) limita el tiempo de recorrido en la ruta. La expresión (7) corresponde a la eliminación de subtoures. La expresión (8) corresponde a las condiciones de las variables del problema.

Modelo OCARP (open Capacitated Arc Routing Problem). Analizando las operaciones de la empresa en el proceso de recolección de basuras, se simplifica el problema inicialmente propuesto a una extensión de CARP grafo dirigido, incompleto y simétrico; donde el nodo de origen es diferente al nodo destino

(OCARP); implica que el vehículo recoja al menos una vez cada arista del grafo. Es decir en cada arista X_{ij} se debe pasar con obligatoriedad al menos una vez en el sector al realizar la ruta, e incluso puede que exista Y_{ij} para recorrer y conectar dos aristas de recolección.

Variables. En el modelo las variables a trabajar se consideran de programación lineal entera donde todas sus variables pertenecen a los enteros positivos.

X_{ij} = arista entre el nodo i y el nodo j

$$X_{ij} \in Z^+$$

Función objetivo. La función objetivo se diseña para minimizar el tiempo total empleado en recoger los residuos sólidos del sector al cual se le presta el servicio; el planteamiento es el siguiente:

$$\sum_i \sum_j Tc_{ij} X_{ij}$$

Donde;

Tc_{ij} = tiempo de recolección.

X_{ij} =arista del nodo i y el nodo j

Restricciones

Restricción 1. En el recorrido de una ruta, la sumatoria de aristas que salen de un determinado nodo o vértice, debe ser igual a la sumatoria de aristas que llegan al mismo; es decir por ser nodos intermedios la cantidad que ingresan debe ser igual a la cantidad que salen, diferente del nodo origen y destino.

$$\sum_j X_{ij} - \sum_j X_{ji} = 0 \quad \forall_i \neq \text{origen, destino.}$$

Restricción 2. La sumatoria de aristas que salen del nodo de origen hacia j, debe ser mayor en 1 que la sumatoria de las aristas que llegan al nodo origen desde j en un Grafo.

$$\sum_j X_{oj} - \sum_j X_{jo} = 1$$

Caso contrario al nodo Destino, La sumatoria de aristas que salen del nodo destino hacia j, debe ser menor en 1 que la sumatoria de las aristas que llegan al nodo destino desde j, en una determinada red.

$$\sum_j X_{Dj} - \sum_j X_{jD} = -1$$

Restricción 3. Para el modelo propuesto la cantidad de aristas por donde un vehículo debe pasar, deber ser al menos por las aristas obligatorias, es decir aquellas aristas donde hay que recoger; tomando un solo sentido X_{ij} ò X_{ji} , pero nunca recoger en ambos sentidos; sólo se puede seleccionar, cuando se tratan aristas de paso como conexión entre otro par de nodos de recolección. Las aristas de paso, son aquellas que se seleccionan para recorrer o desplazarse en una red.

Q_{ij} : Número asociado a que se recoge en una determinada arista, asignado a un tiempo de recolección, toma valores de 1 ò 0; dependiendo si hay demanda para recoger o por lo contrario no hay residuos sólidos para recoger, en un determinado arco de un grafo.

$$Q_{ij}(X_{ij} + X_{ji}) \geq Q_{ij} \quad \forall_{ij}$$

$$X_{ij} \in z^+$$

5. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL PROBLEMA DE RUTEO POR ARCOS CON CAPACIDAD CONSTANTE (CARP)

La herramienta computacional elegida para resolver el problema matemático CARP – OCARP, es el paquete computacional de Microsoft Excel Solver la versión estudiante, esta herramienta tiene la característica que puede solucionar problemas de mayor complejidad que el Solver Estándar de Excel, resuelve un máximo de 2000 variables y 1000 restricciones y de 3 a 10 veces más rápido que solver Estándar modelados como programación lineal y es compatible con todas las hojas de cálculo de Microsoft Excel lo que permite visualizar de forma inmediata las soluciones, observando el comportamiento del modelo y una gran cantidad de iteraciones.

Microsoft Excel Premium utiliza diversos Métodos de solución:

- Problemas de programación lineal, método Simplex
- Problemas de programación entera (PLE) algoritmos de ramificación y acotamiento (Branch and Bound)
- Problemas no lineales, se utiliza el código de optimización no lineal (GRG2)

5.1 DISEÑO HOJA DE CÁLCULO UTILIZANDO HERRAMIENTA MICROSOFT EXCEL PREMIUM.

Para detallar el uso de la herramienta se realizará con los datos del problema ruteo por arcos capacitados (CARP-OCARP); como datos de entrada se deben introducir en la hoja de cálculo de Excel.

- Cada variable de decisión
- La función objetivo y su valor
- Cada restricción o conjunto de Restricciones.

El diseño de la hoja de cálculo fue elaborado exclusivamente para resolver el problema, seleccionando forma, colores, utilizando Macros para una mejor organización comprensión y facilidad.

Figura 16. Diseño herramienta computacional

BS30								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Cantidad de nodos	57	Tcij	Arista (Xij)	Qij	Valor		
2	Nodo de ENTRADA	55	0,50	X	1	2	1	1
3	Nodo de SALIDA	53	0,14	X	1	3	1	1
4	Cantidad Aristas	176	0,50	X	2	1	1	1
5	Restricción Gr. 3	57	0,55	X	2	4	1	1
6			0,14	X	3	1	1	1
7	Restricción Gr. 4		4,84	X	3	4	1	0
8			0,40	X	3	5	1	1
9			0,55	X	4	2	1	1
10	Genera		4,84	X	4	3	1	1
11			0,55	X	4	6	1	0
12	Borra		0,40	Y	5	3	0	0
13			1,57	X	5	6	1	1
14	Gr.3		0,40	X	5	7	1	1
15			0,55	X	6	4	1	1
16	Gr.4		1,57	X	6	5	1	0
17			0,55	X	6	8	1	1
18			0,40	X	7	5	1	1
19	Z	163,158	2,02	X	7	8	1	1
20	1. Genera		0,40	X	7	11	1	0
21	2. Coloca nodos de entrada y salida		0,55	X	8	6	1	1
22			2,02	X	8	7	1	0
23	3. Gr. 3		2,95	X	8	9	1	1
24	4. Gr. 4		0,55	X	8	12	1	1
25	5. Eliminar columna de		2,95	X	9	8	1	0
26	6. Z		4,05	X	9	10	1	0
27	7. L.D. Gr.3 y Gr.4		0,30	X	9	13	1	2
28	8. Solver		4,05	X	10	9	1	1
29			0,43	X	10	14	1	0
30			0,40	X	11	7	1	1
31			1,97	X	11	12	1	0
32			0,10	X	11	16	1	1
33			0,55	X	12	8	1	1
34			1,97	X	12	11	1	1

En la celda B19 se observa la función objetivo y su respectivo valor; en D las variables de decisión, $X_{(i,j)}$ para efecto de recoger y $Y_{(i,j)}$ para desplazamientos de los vehículos; en C los valores correspondientes al tiempo asociado de recolección $X_{(i,j)}$ y desplazamiento $Y_{(i,j)}$, en G se asignan valores de 1 a la demanda asociada de los $X_{(i,j)}$ y 0 a las variables $Y_{(i,j)}$ de desplazamiento, en la columna H las veces que se elige las variables $X_{(i,j)}$ y $Y_{(i,j)}$ para el diseño de la nueva ruta.

En la figura 17 se ilustra el conjunto de restricciones impuestas para el problema, las columna I hasta AE es la restricción Gr.2 (amarillo), AF hasta BE la restricción Gr 3, (azul) y en la parte inferior de la hoja de cálculo, filas 46 hasta 48 el lado derecho de las restricciones Gr2. Y Gr.3, formando el conjunto de las restricciones para modelar el problema OCARP.

Gr. 1:

$$\sum_j X_{ij} - \sum_j X_{ji} = 0 \quad \forall_i \neq \text{origen, destino.}$$

Gr. 2:

$$\sum_j X_{oj} - \sum_j X_{jo} = 1$$

$$\sum_j X_{Dj} - \sum_j X_{jD} = 1$$

Gr. 3:

$$Q_{ij}(X_{ij} + X_{ji}) \geq Q_{ij} \quad \forall_{ij}$$

$$X_{ij} \in z^+$$

5.1.1 Datos de entrada

5.1.1.1 Nodos de origen y destino del Grafo: Antes de solucionar el problema por la herramienta computacional se deben incluir Parámetros de entrada como el nodo de inicio de ruta y finalización de la misma para modelar el problema de ruteo de arcos con capacidad abiertos, donde el origen y destino son subjetivos acorde al diseño de la ruta. La cantidad de nodos, cantidad de aristas y la restricción Gr.2 automáticamente se generan una vez aplicado solver Excel Premium, para dar solución al problema planteado.

Figura 18. Datos de entrada

Cantidad de nodos	57
NODO DE ENTRADA	55
NODO DE SALIDA	53
Cantidad Aristas	176
Restricción Gr. 3	57
Restricción Gr. 4	

5.1.1.2 Matriz de tiempos: Los datos de recolección, es decir las variables de decisión, $X_{(i,j)}$ (Azul) y los datos de desplazamiento las variables de decisión $Y_{(i,j)}$ son plasmadas en una matriz de tamaño $n*n$ que con antelación son registrados estos tiempos a través del GPS – Satelital que posee la empresa, y verificándolos por el seguimiento, utilizando cronómetro para el registro de los tiempos de las 5 rutas que posee la empresa.

Figura 19. Matriz de Tiempos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	Teij	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2	1		3,77828																					
3	2			0,25																				0,25
4	3		0,25		1,30345					3,08906														
5	4			1,30345		0,36																		
6	5				0,36		0,54																	
7	6					0,54		0,27521																
8	7						0,27521		0,05479															
9	8			3,08906				0,05479		0,12														
10	9								0,12		0,14													
11	10									0,14										1,64418			0,25	
12	11											0,36											0,25	
13	12												0,36		3,14	0,25								
14	13													3,14										
15	14													0,25		1,36						0,1		
16	15															1,36								
17	16																0,52							
18	17																	2,33						
19	18																		2,33					
20	19												0,1								1,56			
21	20																							
22	21																						0,25	
23	22		0,25								0,25													0,25
24	23																							0,25
25																								
26	entra																							
27	sale																							
28	recoleccion																							
29	desplazamiento																							
30	nodos																							
31																								

5.1.1.2 Matriz de demanda asociada al arco X_{ij} Q_{ij} : Matriz de tamaño $n \times n$, se le asigna valor 1 a las aristas obligatorias de recolección y valor 0 a los arcos de desplazamiento posibles que puede servir de conexión con un arco de recolección.

Figura 20. Matriz de Demanda

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	Q_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2	1		1																					
3	2			1							1												0	
4	3		1		1					1														
5	4			1		1																		
6	5				1		1																	
7	6					1		1																
8	7						1		1															
9	8			1				1		1														
10	9								1		1													
11	10									1										1			0	
12	11												1		1	1						0		
13	12													1		1	1							
14	13														1									
15	14															1						1		
16	15																1							
17	16																	1						
18	17																		1					
19	18																				1			
20	19												1											
21	20															1								
22	21																						0	
23	22		0																				0	
24	23																							0

5.1.2 Datos de salida. Vectores de recolección, Cantidad de nodos utilizados, Cantidad de Arcos, función objetivo, las veces que el vehículo puede pasar por un arco empleado en el diseño de rutas.

5.2 FUNCIONALIDAD DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL USANDO EL MÉTODO EXACTO DE BRANCH AND BOUND

Para la ejecución del problema empleando el método exacto Branch and Bound se diseña la hoja de cálculo donde incluye los datos anteriormente mencionados adicionando los Macros, su funcionalidad sigue los siguientes pasos.

- Click en Genera, traspasa los datos de las hojas de cálculo de las matrices de tiempos y demandas, los datos de cantidad de nodos, cantidad de aristas, y restricciones Gr. 2 y Gr. 3 inicialmente con valores de cero.
- Colocar nodos de entrada y salida de acuerdo a los que mejor se ajusten al diseño de la ruta.
- Incorporar el conjunto de restricciones Gr. 2 – Gr. 3
- Eliminar la columna *
- Formulación de la función objetivo
- Solucionar por complemento Solver Excel Premium

6. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

El proceso de Experimentación, inicia con el diagnóstico actual de las rutas, realizando seguimiento y monitoreo de los vehículos para la toma de los tiempos de recolección, distancias de desplazamiento de la flota vehicular, sentidos y orientaciones reales de las vías; así como la socialización con los operadores, conductores y supervisores del área, pertenecientes al sistema de recolección de residuos sólidos, concierne al proceso de Recolección de basuras.

En el diagnóstico se evidencia que el porcentaje de barrios servidos, corresponde al 35% del total de Barrios del Municipio, prestando el servicio a 46 Sectores de un total de 85 Barrios de Girón; Se emplearon 41 matrices en total.

Gráfica 5. % Barrios servido Econatural



Algunos sectores quedaron exentos en el proceso de diseño de rutas por falta de localización geográfica que impidieron la realización de Matrices (tiempos – Distancias).

Tabla 11. Sectores excluidos

SECTORES EXCLUIDOS
Barrio Prados de Cataluña
Barrio Morada San Juan
Bodegas Garibaldi - Autop. Girón - B/ga
Bodegas avemol - Anillo Vial
Bodegas san Jorge Anillo Vial
Tránsito de Girón - Autop. Girón - B/ga
Frigorífico Rio Frio - Anillo Vial
Zona industrial – Chimitá
Petrocco - Anillo Vial

El diseño de asignación de rutas se desarrolla en dos Experimentaciones.

Experimentación 1. Consiste en observar y analizar el diagnóstico de las operaciones de la empresa; se evidencia que algunos barrios del municipio de Girón por su defecto de ausencia de dimensiones de vías, e inestabilidad del terreno; se concluye que las rutas de recolección son similares a las propuestas que posee la empresa; evidenciando que las operaciones realizadas por Econatural S.A E.S.P son efectivas. A continuación se describen los sectores definidos por la metodología de microruteo; una vez planteado el modelo matemático se confirmó por los métodos de observación y el modelo planteado, evidenciando iguales resultados asemejándose a la ruta actual de la empresa, por consiguiente no se ejecutó ninguna modificación.

Tabla 12. Sectores sin modificación de ruta

RUTA 1	TIEMPO (MIN-SEG)	RUTA 2	TIEMPO (MIN-SEG)	RUTA 4	TIEMPO (MIN-SEG)	RUTA5	TIEMPO (MIN-SEG)
Tejar - Altos del Tejar	17,16	Villa Campestre	56,94	Arenales Campestre	35,27	Jardin de Arenales	21,69
Ilanito	20,49	Rio de Oro II	27,47	Villa Campestre	21,43	Meseta	22,16
Quintas del Llanito	22,96	Av. Caneyes	13,38	Portal Campestre cll 19	36,62	Villas de San Juan	87
Villa Carolina	7,5	Balcon del portal	20	Consuelo	49,66	Cra 26	28,26
Sagrado Corazòn	16,07	Castilla I	15,46	El campestre	25,1	Rio Prado	46,87
La Rinconada- parqueadero - conjunto Carrizal - San Juan - Rivera - Muralla I y II - los Recicladores	57,71	Castilla II	32	1 de Mayo	43,42	Altos de Arenales	29,25
Eloy Valenzuela	27,28			Coviandi I	33,04	Progreso	3,28
El paraíso parte alta	8,48			Carrizal Campestre - San Antonio del Carrizal	69,34	Los Macarrones	4,38
Corviandi III	25,2			Villa linda - Casalinda -Balcones de Galicia - Guayacanes	38,32		
La Campiña - Altos de la Campiña	43,7			Av. Cra 26	28,26		
				Av. Caneyes	13,38		
				Ciudadela Villamil - Maxifruver	42,21		
TIEMPO TOTAL DE RUTA	246,55	TIEMPO TOTAL DE RUTA	165,25	TIEMPO TOTAL DE RUTA	436,05	TIEMPO TOTAL DE RUTA	242,89
TOTAL KILOMETROS	68,58	TOTAL KILOMETROS	44	TOTAL KILOMETROS	66,5	TOTAL KILOMETROS	56,45

En las siguientes tablas se muestran los sectores pertenecientes a su ruta respectiva (1,2,3,4) con información detallada; las aristas obligatorias son aquellas vías donde el vehículo debe recoger los residuos sólidos, y las aristas de paso hace referencia a las vías que recorre y que puede servir como puente de conexión entre otro par de nodos; las aristas salteadas son aquellas vías que son aristas de obligatoriedad, pero no son contempladas por las operaciones que actualmente la empresa realiza, generando insatisfacción al cliente. Finalmente el tiempo de viaje alusivo a las demoras en recoger los residuos en dicho sector.

Tabla 13. Caracterización ruta 1

RUTA 1							
SECTOR	No. Vertices	No. Enlaces	ARISTAS OBLIGATORIAS	ARISTAS DE PASO	ARISTAS SALTEADAS	TIEMPO DE VIAJE (min)	%SECTOR VISITADO
Tejar - Altos del Tejar	19	40	20	20	0	17,16	100%
Ilanito	20	29	14	15	0	20,49	100%
Quintas del Llanito	15	26	14	12	0	22,96	100%
Villa Carolina	2	1	1	0	0	7,5	100%
Sagrado Corazón	4	4	4	0	0	16,07	100%
La Rinconada-parqueadero - conjunto Carrizal - San Juan - Rivera - Muralla I y II - los Recicladores	6	10	10	0	0	57,71	100%
Eloy Valenzuela	8	8	8	0	0	27,28	100%
El Paraíso parte alta	3	3	3	0	0	8,48	100%
Corviandi III	4	6	6	0	0	25,2	100%
La Campiña - Altos de la Campiña	37	70	53	17	0	43,7	100%

Tabla 14. Caracterización ruta 2

RUTA 2							
SECTOR	No. Vertices	No. Enlaces	ARISTAS OBLIGATORIAS	ARISTAS DE PASO	ARISTAS SALTEADAS	TIEMPO DE VIAJE (min)	%SECTOR VISITADO
Villa Campestre III	4	5	5	0	0	56,94	100%
Rio de Oro II	2	1	1	0	0	27,47	100%
Av. Caneyes	7	5	5	0	0	13,38	100%
Balcon del Portal	2	1	1	0	0	20	100%
Castilla I	2	1	1	0	0	15,46	100%
Castilla II	2	1	1	0	0	32	100%

Tabla 15. Caracterización ruta 4

RUTA 4							
SECTOR	No. Vertices	No. Enlaces	ARISTAS OBL	ARISTAS DE PASO	ARISTAS SALTEADAS	TIEMPO DE VIAJE (min)	%SECTOR VISITADO
Arenales Campestre	6	8	8	0	0	35,27	100%
Villa Campestre	4	1	1	0	0	21,43	100%
Portal Campestre	7	6	6	0	0	36,62	100%
Consuelo	8	12	12	0	0	49,66	100%
El Campestre	4	7	7	0	0	25,1	100%
1 de Mayo	7	10	10	0	0	43,42	100%
Corviandi I	7	10	10	0	0	33,04	100%
Carrizal campestre - San Antonio del Carrizal	15	32	32	0	0	69,34	100%
Villa linda - Casalinda - Balcones de Galicia - Guayacanes	2	2	2	0	0	38,32	100%
av. Cra 26	2	2	2	0	0	28,26	100%
Av. Caneyes	7	5	5	0	0	13,38	100%
Ciudadela Villamil - Maxifruver	4	4	4	0	0	42,41	100%

Tabla 16. Caracterización ruta 5

RUTA 5							
SECTOR	No. Vertices	No. Enlaces	ARISTAS OBLIGATORIAS	ARISTAS DE PASO	ARISTAS SALTEADAS	TIEMPO DE VIAJE (min)	%SECTOR VISITADO
Jardín de Arenales	4	4	4	0	0	21,69	100%
Meseta	8	17	17	0	0	22,16	100%
Villas de San Juan	2	2	2	0	0	87	100%
Cra 26	2	2	2	0	0	28,26	100%
Rio Prado	9	8	6	2	0	46,87	100%
Altos de Arenales	4	7	7	0	0	29,25	100%
Progreso	3	2	2	0	0	3,28	100%
Los Macarrones	2	2	2	0	0	4,38	100%

Experimentación 2. El alcance de la Experimentación 2 involucra los Barrios que por su extensión de área, variedad de vías, implica un buen diseño de rutas y modificaciones de las mismas; modelando el problema como un CARP abierto,

donde la entrada del barrio no es necesariamente el mismo punto por donde se sale de él. La Extensión del barrio es proporcional a la cantidad de usuarios para el caso de Econatural S.A E.S.P; es decir éstos son los de mayor volumen de usuarios que actualmente les presta servicio la empresa.

Tabla 17. Barrios experimentación 2

BARRIOS EXPERIMENTACIÓN 2	
El Gallineral	
Rio de Oro	
Santa Cruz	
EL Poblado	
Rincón de Girón	

Las Frecuencias de Recolección y el número de rutas no se le aplican ninguna modificación en el proceso de Diseño e implementación de un modelo para la asignación de Rutas de Recolección; se mantienen las planteadas por la empresa.

Tabla 18. Frecuencia de recolección

FRECUENCIAS DE RECOLECCIÓN	
Lunes - Miércoles - Viernes	Martes - Jueves - Sábados
Ruta 1	Ruta 3
Ruta 2	Ruta 4

El desarrollo de la experimentación 2, se realiza en dos fases.

Fase 1. Consiste en diseñar la nueva ruta del sector de tal forma que minimice los tiempos en ruta; los barrios pertenecientes a la ruta 1 y ruta 5, se diseñaron variedad de escenarios definiendo la entrada y la salida de la misma, con la

finalidad de encontrar una óptima solución; para el diseño de los escenarios se tuvo en cuenta parámetros de cercanía a la vías principales de acceso, conexiones entre un barrio y otro, es decir que el nodo destino de una ruta fuese el origen de otra ruta con el fin de reducir la longitud de conexión entre ellas. Rincón de Girón perteneciente a la ruta 2, solo se diseñó un escenario conservando los nodos origen y destino de la ruta actual, por cuestiones de conveniencia de acceso a vías principales. En La ruta 4, no se modificó ningún sector del conjunto de barrios, lo que indica que la empresa realiza sus operaciones optimizando sus recursos y cumpliendo con la cobertura del servicio, generando satisfacción a los usuarios del municipio de Girón.

Tabla 19. Ruta actual vs escenario 1. Poblado

POBLADO RUTA 1		
NODO	RUTA ACTUAL	Escenario 1
Origen	57	57
Destino	51	55
Tiempo (min-Seg)	157,43	163,16

Gráfica 6. Tiempo actual vs escenario 1. Poblado

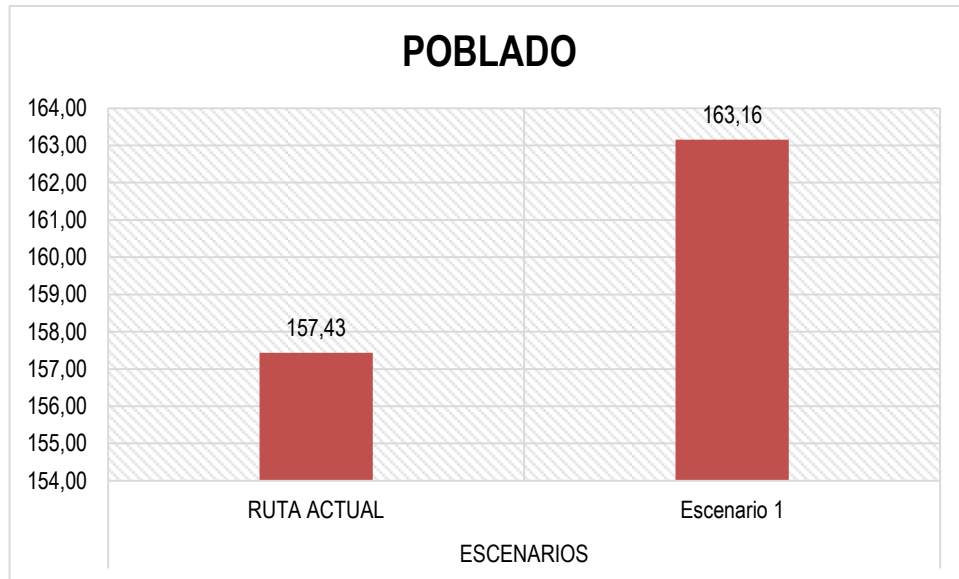


Tabla 20. Caracterización Poblado

Poblado								
NODO	No. Vertices	No. Enlaces	ARISTAS OBLIGATORIAS	ARISTAS DE PASO	ARISTAS SALTEADAS	TIEMPO DE VIAJE (min)	%SECTOR VISITADO	
Origen	57	57	154	111	9	34	157,43	69%
Destino	51							
Origen	57	57	154	145	9	0	163,16	100%
Destino	55							

La ruta seleccionada para el diseño de la nueva ruta corresponde al escenario 1, (163´16”), aunque la ruta actual posee el menor tiempo de longitud del camino, no es seleccionada ya que excluye aristas que son obligatorias de recolección, pero las operaciones actuales no las contempla, quedando sin servir 34 de las 111 aristas.

Tabla 21. Secuencia sector Poblado

Secuenciamiento Ruta	57-33-34-35-32-31-30-29-26-27-28-23-24-25-28-23-22-21-17-13-14-15-16-15-19-20-19-23-19-18-17-13-12-17-12-7-5-6-4-3-1-2-4-2-1-3-5-7-8-6-8-13-8-9-14-15-10-9-14-18-22-27-30-33-36-39-40-41-38-35-32-25-28-31-34-37-38-41-44-47-46-43-40-37-36-39-42-45-48-51-54-55-52-49-50-53-52-51-48-49-46-45-42-43-40-41-44-47-50-49-52-55
-----------------------------	--

Tabla 22. Ruta actual vs escenario 1. Rincón de Girón

RINCÓN DE GIRÓN RUTA 2		
NODO	RUTA ACTUAL	Escenario 1
Origen	1	1
Destino	26	26
Tiempo (min-seg)	144,90	137,54

Figura 23. Diseño Sector Rincón de Girón

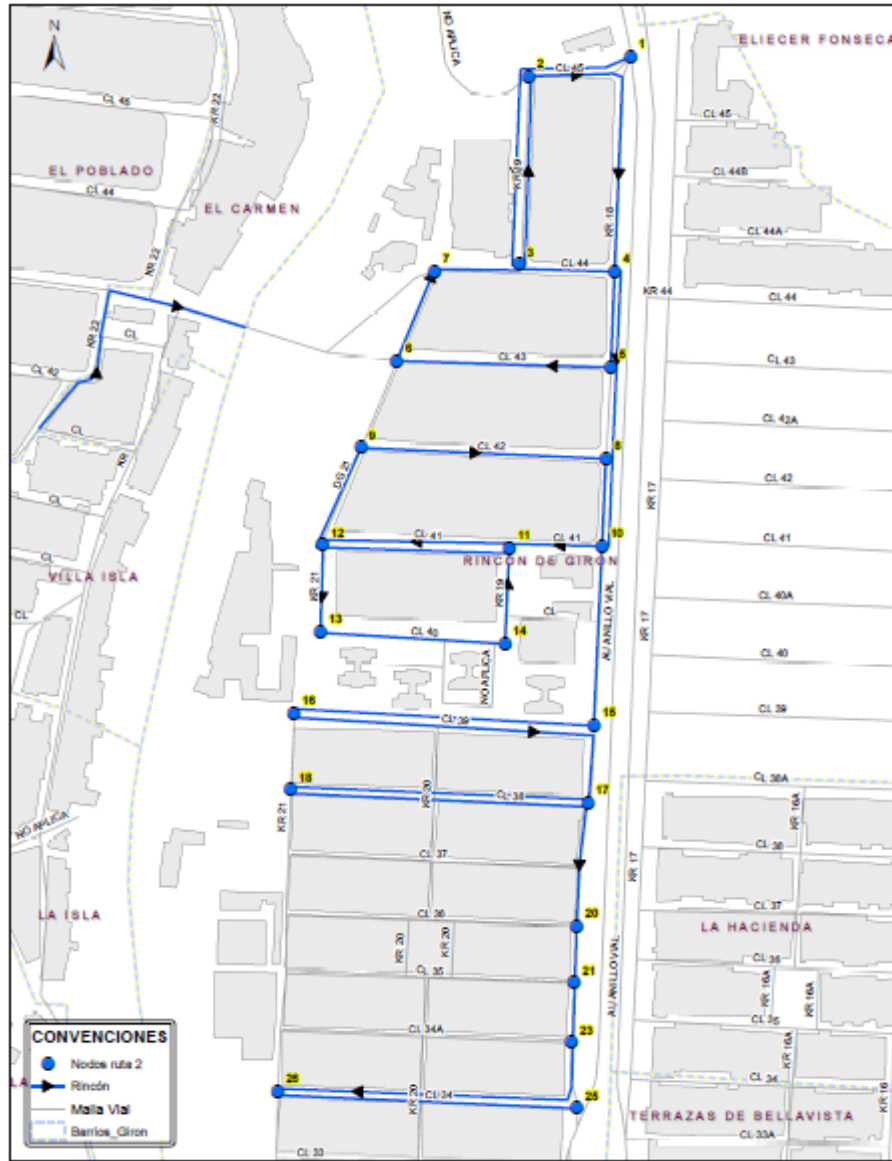


Tabla 23. Secuencia sector Rincón de Girón

Secuenciamiento Ruta	1-2-3-2-1-4-5-6-7-3-4-5-8-10-11-12-13-14-11-12-9-8-10-15-16-15-17-18-17-20-21-23-25-26-25
-----------------------------	---

Gráfica 7. Tiempo actual vs escenario 1 Rincón de Girón



Tabla 24. Caracterización Rincón de Girón

Rincón de Girón								
NODO	No. Vertices	No. Enlaces	ARISTAS OBLIGATORIAS	ARISTAS DE PASO	ARISTAS SALTEADAS	TIEMPO DE VIAJE (min)	%SECTOR VISITADO	
Origen	1	23	45	43	2	0	144,9	100%
Destino	26							
Origen	1	23	45	43	2	0	137,54	100%
Destino	26							

La ruta seleccionada para el nuevo diseño corresponde al escenario 1, (137'54"), evidenciando una mejora en la ruta propuesta cumpliendo con una cobertura total del servicio de recolección minimizando el tiempo en ruta.

Tabla 25. Ruta actual vs escenarios Gallineral

GALLINERAL RUTA 5			
NODO	RUTA ACTUAL	Escenario 1	Escenario 2
Origen	1	1	1
Destino	17	11	14
Tiempo (min-seg)	29,717	34,537	33,927

Figura 24. Diseño escenario 1 Gallineral



Figura 25. Diseño escenario 2 Gallineral



Figura 26. Diseño escenario 3 Gallineral



Gráfica 8. Tiempos actual vs escenarios Gallineral

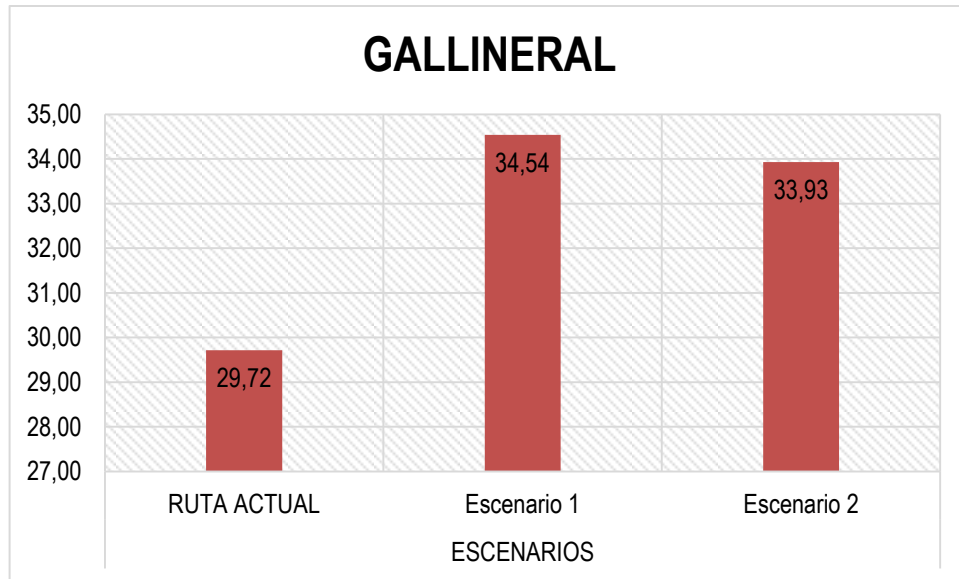


Tabla 26. Caracterización Gallineral

Gallineral								
NODO		No. Vertices	No. Enlaces	ARISTAS OBLIGATORIAS	ARISTAS DE PASO	ARISTAS SALTEADAS	TIEMPO DE VIAJE (min)	%SECTOR VISITADO
Origen	1	23	44	37	7	0	29,72	100%
Destino	17							
Origen	1	23	44	37	7	0	34,54	100%
Destino	11							
Origen	1	23	44	37	7	0	33,93	100%
Destino	14							

La ruta seleccionada para el nuevo diseño, corresponde a la ruta actual (29'72"), lo que implica que no hay modificaciones en la estructuración de una nueva ruta, ya que ésta recoge todas las aristas minimizando el tiempo de la misma.

Tabla 27. Secuencia sector Gallineral

Secuenciamiento Ruta	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-9-8-3-2-10-18-19-11-12-13-12-14-20-14-15-16-17
-----------------------------	---

Tabla 28. Ruta actual vs escenarios Rio de Oro

RIO DE ORO RUTA 5				
NODO	RUTA ACTUAL	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Origen	3	2	16	8
Destino	16	8	14	14
Tiempo (min-seg)	34,41	51,88	50,32	50,83

Figura 27. Diseño escenario 1 Rio de Oro



Figura 28. Diseño escenario 2 Rio de Oro



Figura 29. Diseño escenario 3 Rio de Oro



Gráfica 9. Tiempos actual vs escenarios Rio de Oro

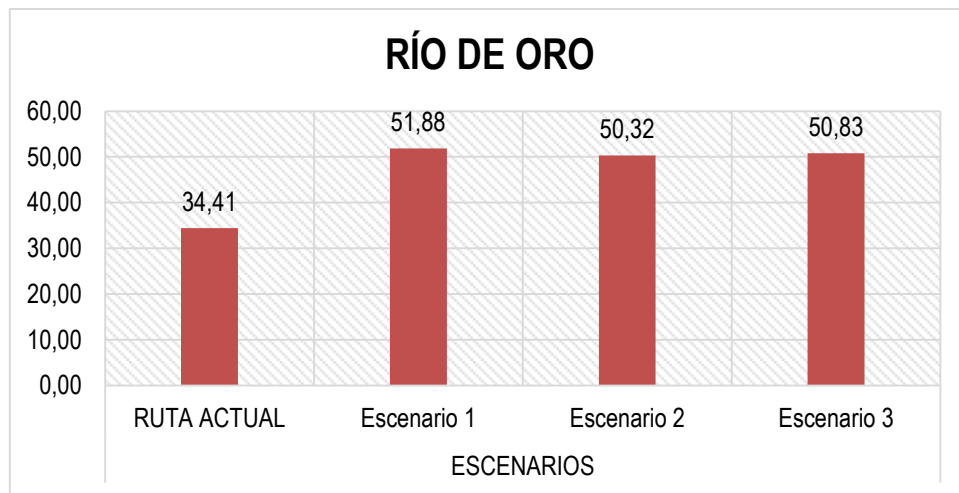


Tabla 29. Caracterización Rio de Oro

Rio de Oro								
NODO		No. Vertices	No. Enlaces	ARISTAS OBLIGATORIAS	ARISTAS DE PASO	ARISTAS SALTEADAS	TIEMPO DE VIAJE (min)	%SECTOR VISITADO
Origen	3	19	45	31	10	4	34,41	87%
Destino	16							
Origen	2	19	45	35	10	0	51,88	100%
Destino	8							
Origen	16	19	45	35	10	0	50,32	100%
Destino	14							
Origen	8	19	45	35	10	0	50,83	100%
Destino	14							

La ruta seleccionada para el nuevo diseño corresponde al escenario 2, (50'32"), aunque la ruta actual posee el menor tiempo de longitud del camino, no es seleccionada ya que excluye aristas que son obligatorias de recolección, pero las operaciones actuales no las contempla, quedando sin servir 4 de las 31 aristas.

Tabla 30. Secuencia sector Rio de Oro

Secuenciamiento Ruta	16-18-19-11-12-13-12-16-17-16-18-19-9-5-7-8-3-4-1-4-5-9-6-10-11-14
----------------------	--

Tabla 31. Ruta actual vs escenarios Santa Cruz

SANTA CRUZ RUTA 5				
NODO	RUTA ACTUAL	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Origen	29	30	29	29
Destino	5	30	2	30
Tiempo (min-seg)	82,73	91,11	87,96	89,05

Figura 30. Diseño escenario 1 Santa Cruz



Figura 31. Diseño escenario 2 Santa Cruz

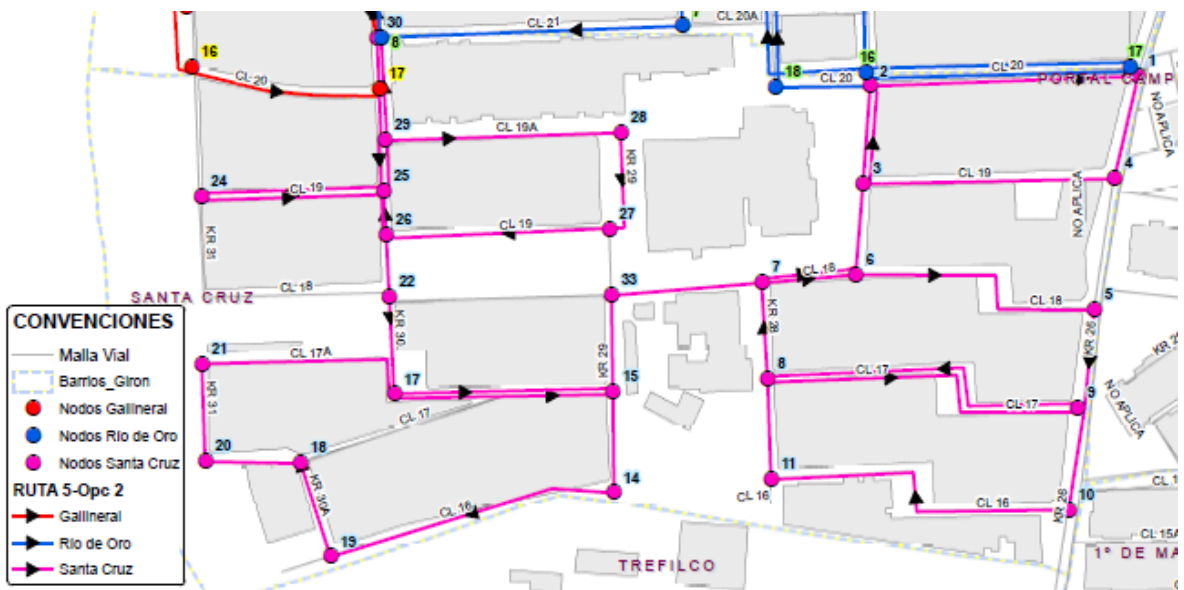
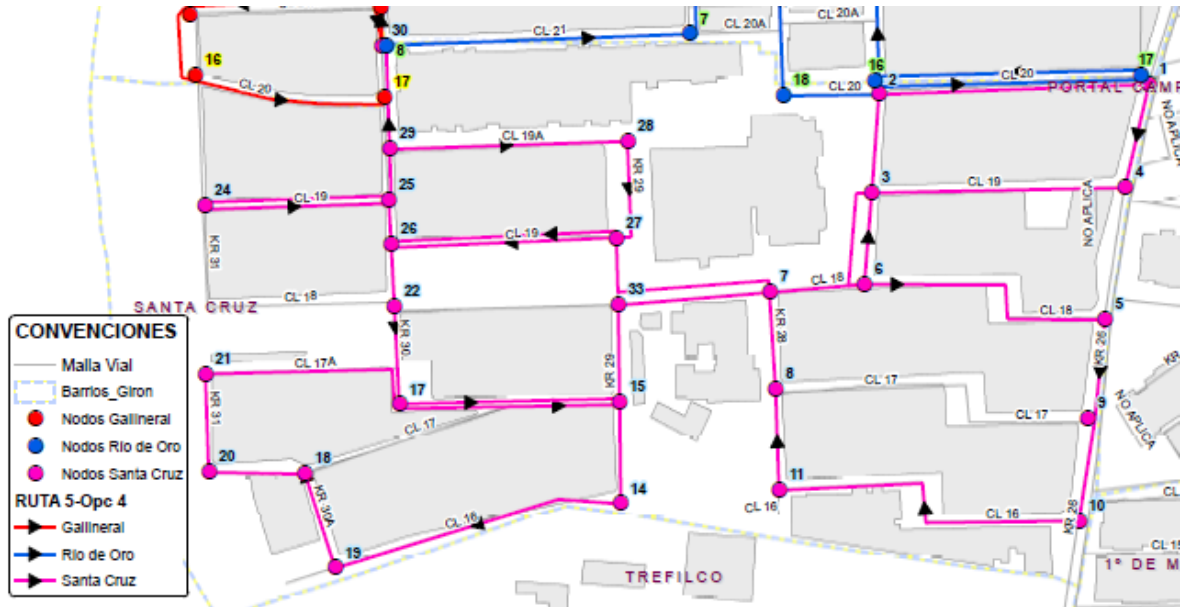


Figura 32. Diseño escenario 3 Santa Cruz



Gráfica 10. Tiempos actual vs escenarios Santa Cruz

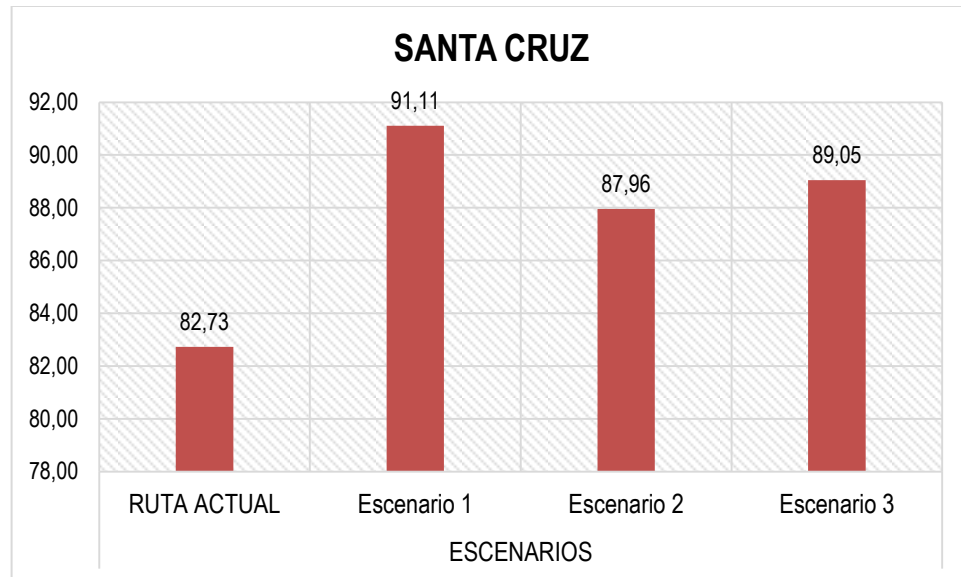


Tabla 32. Caracterización Santa Cruz

Santa Cruz								
NODO	No. Vertices	No. Enlaces	ARISTAS OBLIGATORIAS	ARISTAS DE PASO	ARISTAS SALTEADAS	TIEMPO DE VIAJE (min)	%SECTOR VISITADO	
Origen	29	28	63	50	11	2	82,73	96%
Destino	5							
Origen	30	28	63	52	11	0	91,11	100%
Destino	30							
Origen	29	28	63	52	11	0	87,96	100%
Destino	2							
Origen	29	28	63	52	11	0	89,05	100%
Destino	30							

La ruta seleccionada para el diseño de la nueva ruta corresponde al escenario 2, (87'96"), aunque la ruta actual posee el menor tiempo de longitud del camino, no es seleccionada ya que excluye aristas que son obligatorias de recolección, pero las operaciones actuales no las contempla, quedando sin servir 2 de las 50 aristas.

Tabla 33. Secuencia sector Santa Cruz

Secuenciamiento Ruta	29-30-29-28-27-26-25-24-25-29-25-26-22-17-15-14-19-18-20-21-17-15-33-7-6-5-9-10-11-8-9-8-7-6-3-2-1-4-3-2
-----------------------------	--

Fase 2. Realizando el análisis de la fase 1, se procede a la integración de los sectores o barrios de la ruta 5 (Gallineral - Rio de Oro - Santa Cruz) bajo la metodología de Macroruteo; adicionalmente se realiza por la cercanía existente entre los tres barrios, diseñando de mejor estructura su respectivas conexiones, de tal manera que minimice el tiempo de recoger de los tres sectores; similar a la fase 1 se trabaja diferentes escenarios en busca de la mejor ubicación de nodos de origen y destino.

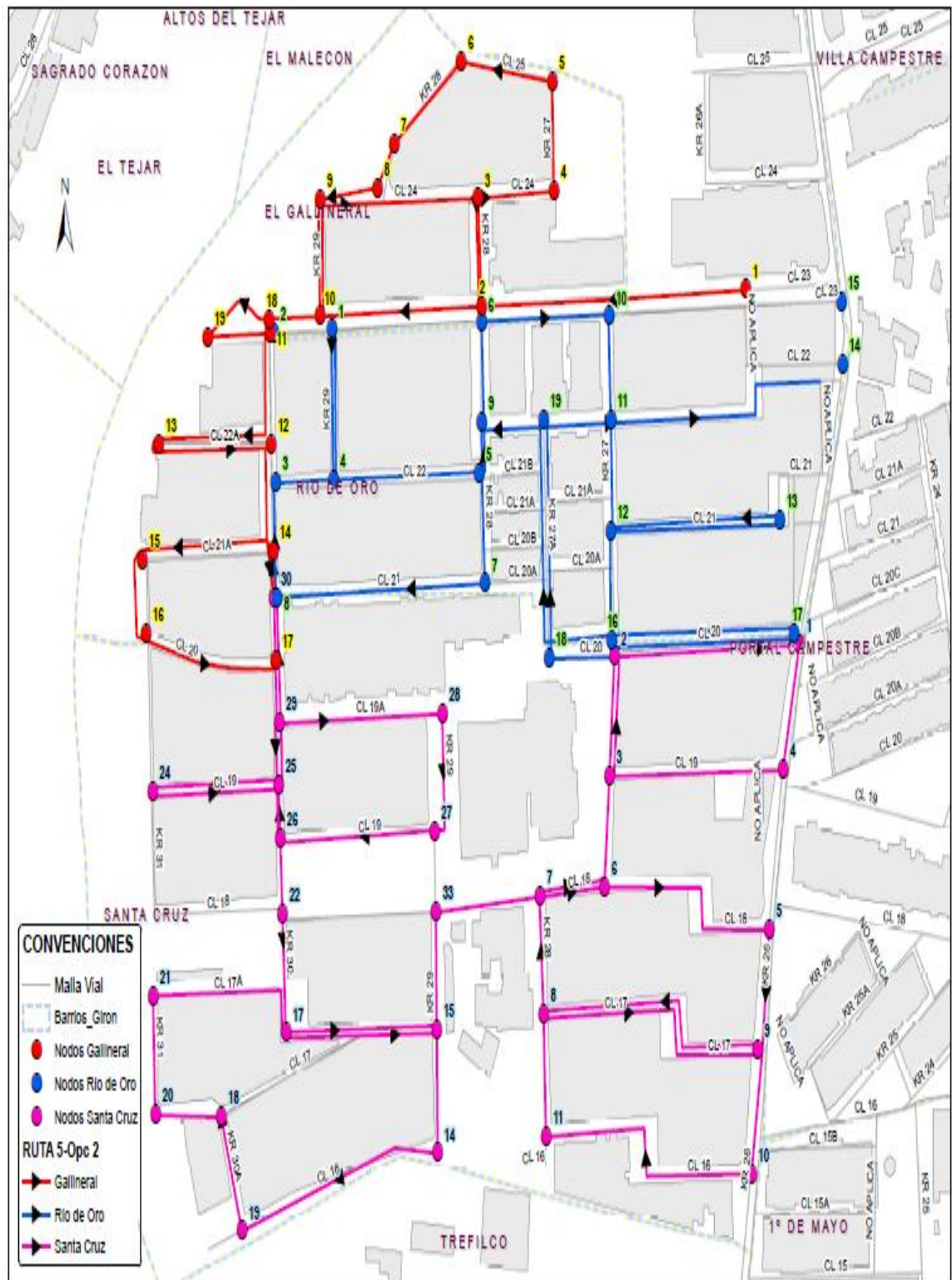
Tabla 34. Integrado de sectores de los diferentes escenarios

ESCENARIO 1			
NODO	Gallineral	Rio de Oro	Santa Cruz
Origen	1	2	30
Destino	11	8	30
Tiempo (min-seg)	34,54	51,88	91,11
Tiempo total en ruta	177,53		

ESCENARIO 2			
NODO	Gallineral	Santa Cruz	Rio de Oro
Origen	1	29	16
Destino	17	2	14
Tiempo (min-seg)	29,72	87,96	50,32
Tiempo total en ruta	167,99		

ESCENARIO 3			
NODO	Gallineral	Santa Cruz	Rio de oro
Origen	1	30	8
Destino	14	30	14
Tiempo (min-seg)	33,93	91,11	50,83
Tiempo total en ruta	175,87		

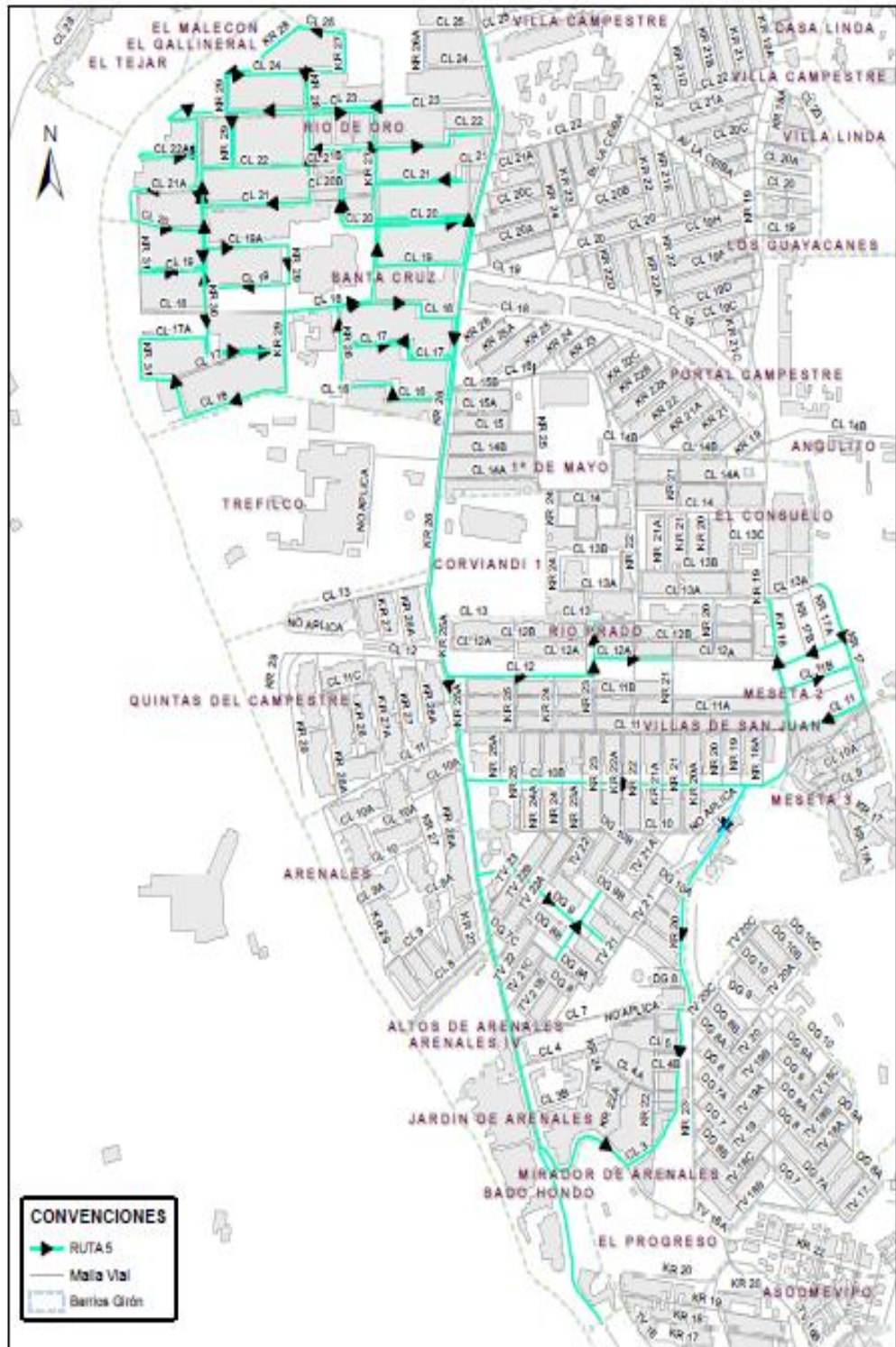
Figura 33. Diseño integrado escenario 2



La suma del escenario 2; con un tiempo 167'99" minimiza la función objetivo que consiste en reducir la longitud del camino de los tres barrios, siguiendo su respectivo orden, Gallineral, Santa Cruz, Rio de oro de acuerdo al análisis Global de la Fase 1 y 2 de la segunda experimentación, siendo éste el diseño final de la ruta 5.

Finalizado el diseño total de la ruta, se procede a integrar todos los barrios, se generan 4 mapas correspondientes a la ruta 1, 2, 4, 5. **VER ANEXO I**; donde se evidencia el recorrido que realiza el vehículo a todos los sectores asignados.

Figura 34. Diseño ruta 5



7. CONCLUSIONES

- En el proceso de Construcción de matrices se notó una gran complejidad en la cartografía disponible del municipio de Girón para el registro de Distancias, sentido y orientación de vías; las entidades correspondientes no poseen información actualizada de los requerimientos para el desarrollo del proyecto, optando por el seguimiento de las rutas para la verificación de los datos; sumándole a que las vías del municipio están en constantes cambios de construcción y orientaciones de las vías.
- En el diseño de rutas para proponer el modelo, fue de complejidad alta, puesto que por ausencia de proyectos en el diseño de rutas de recolección en acera tomó un tiempo considerable en formular el modelo teniendo en cuenta las variables y parámetros correctos para el desarrollo del mismo.
- Ausencia de información en la georeferenciación de los sectores del Municipio, quedando excluidos algunos barrios para la implementación de asignación de rutas de recolección de basuras.
- Se realizó la propuesta de diseño e implementación de un modelo para la asignación de rutas basado en problemas de optimización combinatoria de programación lineal entera, utilizando la metodología de recolección en acera, Microruteo en el municipio de Girón bajo la problemática de ruteo por arcos con capacidad CARP y su extensión OCARP, grafo dirigido, asimétrico e incompleto. El procedimiento de este trabajo permite la selección del nodo de origen y nodo destino de la ruta.

- Las rutas de los vehículos de recolección de residuos sólidos generadas por esta metodología (recolección en acera) en el municipio de Girón, tienen un diseño significativamente mejor que las rutas Actuales por la empresa que estaban en uso antes de este proyecto. El mayor avance está dado en la cobertura provista por el servicio de recolección, que ahora llega a todas las cuadras de la municipalidad. Antes de esta propuesta, hasta 34 cuadras se salteaban en algunos Barrios. Se evidencia que respecto a la ruta actual versus la ruta solucionada por el modelo, los tiempos en recoger el barrio son superiores a los de la ruta actual, debido a que ésta no contempla aristas que son de obligatoriedad recolección lo que hace que sus tiempos sean extensos.

8. RECOMENDACIONES

- Basado en el modelo exacto propuesto de Ramificación y Acotamiento, generó los resultados de la matriz perteneciente al barrio Poblado, sus tiempos de ejecución se dieron en tiempos extensos, aunque generó una solución óptima, el modelo requiere suficiente recurso computacional, se propone aplicar una metaheurística para que sus tiempos de ejecución disminuyan y se obtengan resultados precisos cercanos a los óptimos.
- Para una mejor segmentación de rutas se recomienda presentar una propuesta utilizando la metodología de Macroruteo, donde contemple la sectorización de los barrios del municipio donde se suministre el servicio, el número de camiones necesarios para el proceso de recolección, determinando el tamaño de la ruta homogénea, de tal forma que se equilibre la cantidad de demanda y los kilómetros recorridos por cada ruta propuesta.
- Difundir el modelo y la herramienta computacional a empresas de otras localidades que suministren el servicio de recolección de residuos sólidos de forma que se preste un servicio de recolección efectivo y minimice los impactos ambientales, mejorando la salubridad de la comunidad.
- Por la deficiencia en la cartografía disponible del municipio, es conveniente realizar la actualización por la entidades pertinentes de la base cartográfica, la última actualización se realizó en el año 2010 y a la fecha hay modificaciones de nuevo sectores y vías, que no están georeferenciadas y dificultan la realización de las matrices de tiempos y distancias, quedando excluidos algunos sectores para el desarrollo del proyecto.

- Se propone realizar campañas de sensibilización a la comunidad del municipio de Girón para que depositen los residuos en los lugares correspondientes y en la frecuencia determinada, para que se disminuyan los puntos críticos, entiéndase como puntos críticos, aquellos lugares donde los residuos son expuestos al ambiente por periodos prolongados, generando contaminación por negligencia de la comunidad y a su vez, evitar que los kilómetros a recorrer por los vehículos aumente, debido a que tiene que pasar varias veces por el sector.
- Realizar el respectivo mantenimiento preventivo y correctivo a la flota de transporte, para garantizar la continuidad de la ruta, sin retrasos o demoras en el servicio, que perjudiquen el medio ambiente y la insatisfacción del usuario.
- Planificar e implementar un plan de muestreo adaptable al municipio de Girón, con la finalidad de obtener estimaciones de la demanda de residuos generados, por cada usuario en el día, para robustecer el problema a tratar.

BIBLIOGRAFÍA

Amponsah, S. Salhi. The investigation of a class of capacitated arc routing problems: the collection of garbage in developing countries. 2004

Anaya, Julio. Logística integral. La gestión operativa de la empresa. 3 Edición. Madrid. 2007. Pag 22-23.

Arc routing problem. 25 September 2006. Disponible en: <www.sciencedirect.com>

Ayala & Gonzáles. Asignación de rutas de vehículos para un sistema de residuos sólidos en la acera. Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 5–11. 2001

Bandala & Osorio. Análisis del sistema de recolección de basura en la zona urbana del municipio de San Pedro Cholula mediante la aplicación de un modelo de Ruteo de Vehículos con Capacidad. 2012

Bastos, Ana. Distribución logística y comercial. La logística en la empresa. 1 Edición. 2007. Pág. 3-4. ISBN 978-84-9839-200-5.

Benavent, Enrique; Campos, Vicente; Coberan, Ángel; Mota, Enrique. Problemas de rutas por arcos. En: Qüestiió, 1983. Vol 7, p. 479-480. ISSN 0210-8054

Benavent, Enrique; Campos, Vicente; Mota, Enrique; et al. Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa. Núm. 2, 1985. 27-38 p. vol. 32

Brandao, José; Eglese, Richard. A deterministic tabu search algorithm for the capacitated

Coberan, Ángel; Sanchis, José. La combinatoria poliédrica y los problemas de rutas de vehículos. [en línea] Disponible en: <http://www.emis.ams.org/journals/BEIO/files/BEIOv21n3_IO_ACorberan+JMSanchis.pdf>

COLOMBIA. Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. Decreto número 2981 del 2013. (Diciembre 20)

DECRETO 2981. [en línea] Disponible en: www.andi.com.co/Archivos/file/.../2014/DECRETO2981residuos.pd

DECRETO 2981. [en línea] Disponible en: www.andi.com.co/Archivos/file/.../2014/DECRETO2981residuos.pd

DECRETO 2981. [en línea] Disponible en: www.andi.com.co/Archivos/file/.../2014/DECRETO2981residuos.pd

GIRÓN. ALCALDÍA SAN JUAN DE GIRÓN. Decreto 00076 (21, Febrero, 2008). Por medio del cual se prohíbe en el casco antiguo de Girón el tránsito o parqueo de vehículos tipo camioneta, camión rígido, tracto camión, unidad tractora, vehículo articulado, volquetas y se dictan otras disposiciones. Girón: Alcaldía de San de Girón, 2008. 2p

GIRÓN. ALCALDÍA SAN JUAN DE GIRÓN. Decreto 032 (19, Febrero, 2009). Por medio del cual se prohíbe en el casco urbano del municipio de San Juan de Girón el tránsito y estacionamiento de vehículos tipo camión rígido, volquetas, buses,

tracto camión, unidades tractoras y vehículos articulados y se implementa la respectiva señalización. Girón: Alcaldía de San de Girón, 2009. 2p

Granados, Diana. Diseño e implementación de un modelo para la asignación de rutas escolares en la cooperativa Multiactiva Claveriana Ltda Comulclaver. Trabajo de grado. Universidad industrial de Santander. Escuela de estudios industriales y empresariales, 2011.

Guevara, Johan; Vargas Adriana. Diseño e implementación de rutas de recolección de residuos hospitalarios en la empresa Edepsa. Trabajo de grado. Universidad industrial de Santander. Escuela de estudios industriales y empresariales. 2014

Hernán, Jaime. Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. [en línea] Disponible en: <file:///C:/Users/user/Downloads/Dialnet-DiseñoDeUnModeloDeOptimizaciónDeRutasDeTransporte-3686917.pdf>

Hernández, José; Torres Gonzalo. Revista de ingeniería. Universidad de los Andes. 2001. No.13, pp 5-11. [En línea]. Disponible en: <<http://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/541>> ISSN 0121-4993.

Hillier, Frederick. Introducción a la Investigación de Operaciones. 9 edición. México. Mc Graw Hill, 2010. 1010 p

II CONFERENCIA DE INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN. (5-6, Septiembre, 2002:vigo). Una Revisión de Modelos para el Diseño de Itinerarios y su Aplicabilidad a los Problemas de Recogida de Residuos Urbanos. Asociación para el desarrollo de la ingeniería de la organización, 2002, pág. 649-656.

Euler, L. "Solutio problematis and geometrian situa pertinentis",comment. Academiae csi. I. petropolitanae 8. 1736

Laporte, Gilbert. The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. En: European Journal of Operational Research, vol. 59., p. 345. 1992.

Li et al. Truck scheduling for solid waste collection in the City of Porto Alegre, Brazil. 2006

Macías, B. J., & Amaya, C. A. Algoritmo memético con operadores de inteligencia artificial para el CARP con inicio y fin no determinado y bi-objetivo. Ingeniería y Ciencia, 12(23), 25. 2016

Márquez, Jorge Nelson. Macro y Micro Ruteo De Residuos Sólidos Residenciales. 2010

Márquez, Jorge. Macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales. Tesis de Grado. Universidad de sucre. Disponible en: <<http://unisucre-repositorio.metabiblioteca.org/bitstream/001/299/2/628.442M357.pdf>>

Marti, Rafael. Algoritmos heurísticos en optimización combinatoria. [en línea] Disponible en: <<http://yalma.fime.uanl.mx/~roger/work/teaching/mecbs5122/1-Introduction/Intro-by-Rafa%20Marti.pdf>>

Martínez, Cristian Alejandro. Metaheurísticas híbridas aplicadas al problema de Ruteo por Arcos Capacitados. Buenos Aires, 2011, 167 p. Trabajo de grado. (Doctorado área de computación). Universidad Nacional de Salta. Facultad de ciencias exactas y naturales. [en línea] Disponible en: <www.dc.uba.ar/inv/tesis/doctorado/tesisCristian18092011.pdf/at.../file>

Merelo, J.J. Técnicas heurísticas de resolución de problemas: computación evolutiva y redes neuronales [en línea] España: Grupo GeNeura, 2005. <http://geneura.ugr.es> (consultado: 3 de junio de 2014)

Navascues, Ricardo. Manual de logística integral. ISBN 84-7978-345-1

Peña, Claudia; Osorio, Juan. Gestión de residuos sólidos en cadenas de suministro de ciclo cerrado desde la perspectiva de la investigación de operaciones. Revista Luna Azul. 2015, No. 4, pp 5-28 [en línea]. Disponible en: <http://200.21.104.25/lunazul/downloads/Lunazul41_2.pdf>. ISSN: 1909-2474.

PLAN DE DESARROLLO 2012-2015, Alcaldía San Juan de Girón. [en línea] Disponible en: <http://www.giron-santander.gov.co/apc-aa>. 58 p

Regato, Juan. Ciclo para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Trabajo de grado. Instituto Politécnico Nacional. México. 2007.

Rodallega & Hernández. Diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos en la zona urbana del municipio de Jamundí usando “el algoritmo del cartero chino”. 2008

Salvador, Ángel; Andani, Isaac; Llopis, José. Algunos problemas de rutas por arcos. Tesis Doctoral. España. Universidad de Valencia, 2014.

Taha, Hamdy. Investigación de Operaciones. Traducido por Virgilio González Pozo. 7 edición. México. Pearson Education, 2004. 848 p

Zanakis, S. H. Evans, J. R. Heuristic ‘Optimization’: Why, When and How to Use It”. Interfaces. Vol. 11(5) 1981

ANEXOS

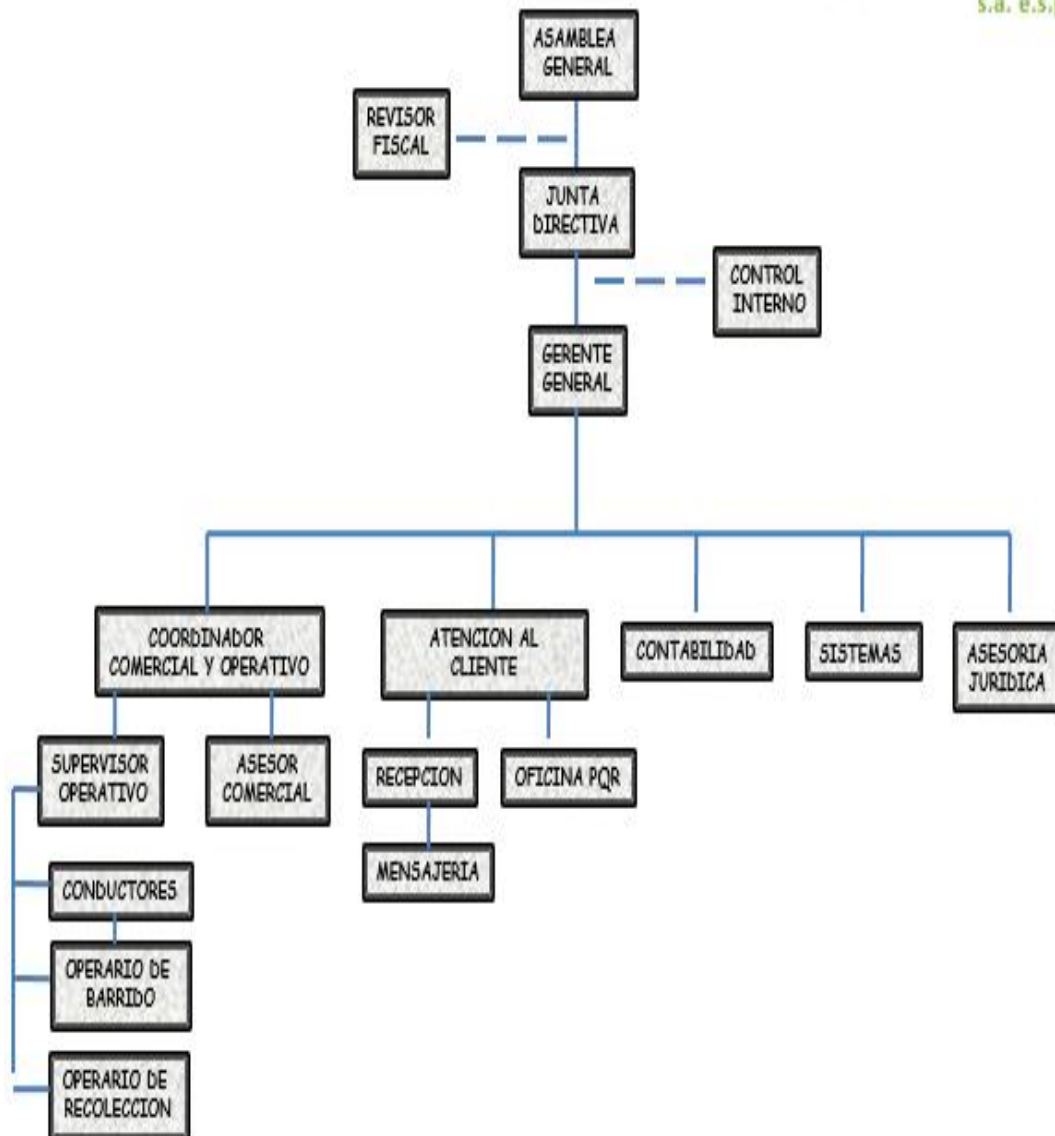
ANEXO A. Portafolio de servicios Econatural S.A E.S.P.

SERVICIO
Recolección transporte y disposición de residuos sólidos
Recolección transporte y disposición de reciclaje ⁴⁰
Recolección y transporte y disposición de barrido
Recolección transporte y disposición de podas y escombros inservibles.

⁴⁰ La empresa brinda el servicio de recolección de reciclaje, pero no dispone de un lugar específico de disposición, se transporte y se deposita en el relleno al igual que los residuos sólidos.

ANEXO B. Estructura organizacional de Econatural s.a e.s.p

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

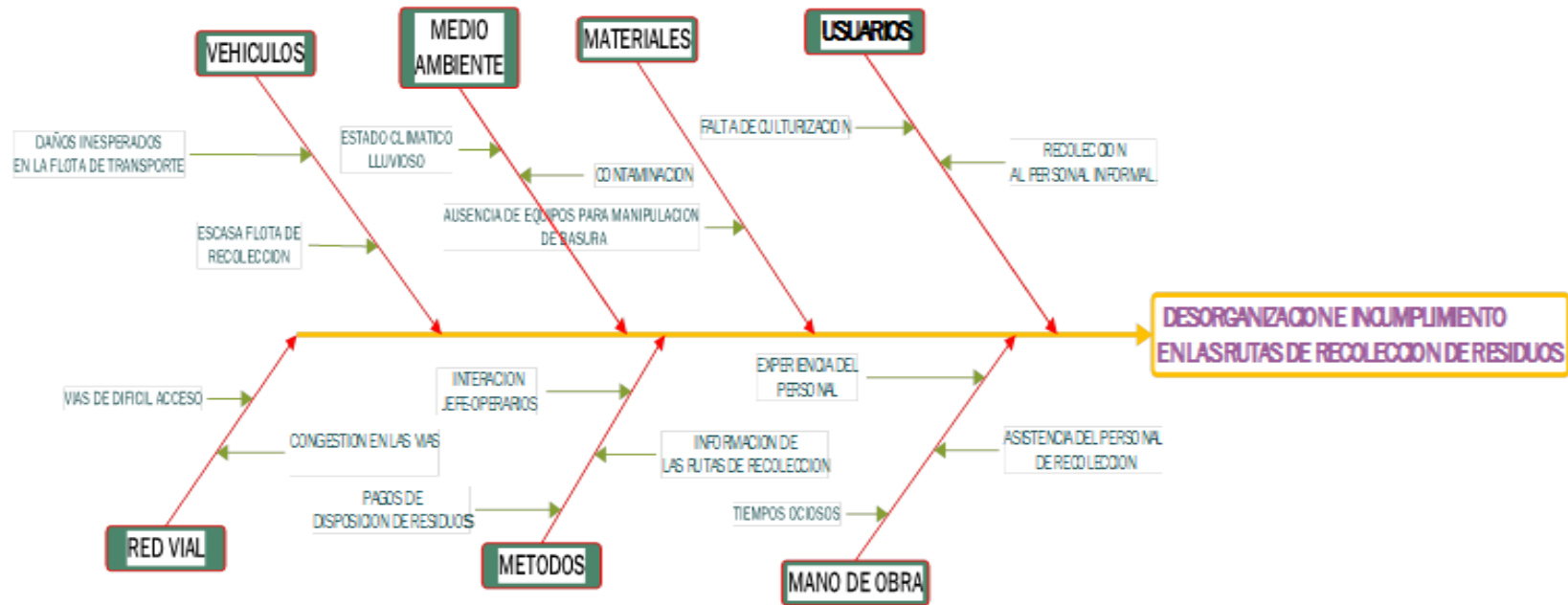


**ANEXO C. Cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos en el
Municipio de Girón.**

SECTOR	No. Usuarios	% Participación
RINCÓN DE GIRÓN	1310	10%
SANTA CRUZ	967	8%
EL POBLADO	781	6%
PORTAL CAMPESTRE	664	5%
VILLA CAMPESTRE	594	5%
PRIO PRADO	566	4%
VILLAS DE SAN JUAN	538	4%
ALTOS DE SAN ANTONIO DEL CARRIZAL	486	4%
RIO DE ORO	405	3%
VILLAMIL	403	3%
CONSUELO	395	3%
ALTOS DE AREALES	372	3%
ARENALES 2,4	359	3%
LA CAMPIÑA	323	3%
CASTILLA REAL 2	264	2%
ELOY VALENZUELA	238	2%
CARRIZAL CAMPESTRE	223	2%
JARDÍN DE ARENALES	221	2%
EL CARRIZAL	216	2%
ARENALES CAMPESTRE	201	2%
EL GALLINERAL	198	2%
LA MESETA 2, 3	198	2%
CORVIANDI 3	182	1%
CENTRO	179	1%
VILLA CAROLINA	165	1%
TEJAR	162	1%
ALTOS DEL TEJAR	157	1%
EL PARAÍSO	155	1%
CORVIANDI 1	124	1%
1 DE MAYO	106	1%
LA HACIENDA	106	1%
CASTILLA REAL 1	99	1%
RIO DE ORO II	84	1%
MIRADOR DE ARENALES	82	1%
PORTAL 1	78	1%
QUINTAS DE LLANITO	72	1%
SAN JUAN	70	1%
MURALLA	68	1%
CASA LINDA	63	0%
INDUSTRIAL CHIMITA	55	0%
PORTAL 2	55	0%
ALMENARES DE SAN JUAN	45	0%
BALCONES DEL PORTAL	42	0%

SECTOR	No. Usuarios	% Participación
VILLA LINDA	41	0%
ALDEA	33	0%
BRISAS DEL CAMPO	32	0%
ALTOS DE LA CAMPIÑA	31	0%
LOS CAMBULOS	31	0%
PROGRESO	31	0%
MORADA DE SAN JUAN	30	0%
GUAYACANES	29	0%
ALICANTE	27	0%
SAGRADO CORAZÓN	27	0%
LA ESMERALDA	26	0%
ALTOS DEL LLANITO	25	0%
QUINTAS DE SAN ISIDRO	24	0%
GIRÓN CAMPESTRE	21	0%
CIUDADELA COMFENALCO	20	0%
EL LLANITO	20	0%
VIDA DE PRIMAVERA	19	0%
BALCONES DE GALICIA	18	0%
ARBOLEDA	11	0%
ARBOLEDA	11	0%
VILLAMPIS	9	0%
GIRALUZ	6	0%
VEREDA LAGUNETA	5	0%
VEREDA LAGUNETA	5	0%
LA CONSTITUYENTE	4	0%
ANGULITO	3	0%
VEREDA CARRIZAL	3	0%
ELIECER FONSECA	3	0%
LA MURALLA	2	0%
LA RINCONADA	2	0%
LA RIVERA	2	0%
VILLAS CAMPESTRE	2	0%
HACIENDA LA MESETA	2	0%
QUINTAS CAMPESTRE	2	0%
BELLAVISTA	1	0%
RINCONADA	1	0%
VILLA PAULA	1	0%
VILLAMIL	1	0%
RIO FRIO FINCA LA ESPERANZA/VEREDA	1	0%
EL BOSQUESITO	1	0%
EL PALENQUE	1	0%
KM 7 VÍA GIRÓN	1	0%
TOTAL USUARIOS	12636	

ANEXO D. Diagrama Ishikawa



ANEXO E. Proceso de recolección de residuos sólidos Urbanos.

- **Planificación del proceso de transporte.** La planificación comienza desde que la asesora comercial empieza con los procesos de reclutamiento de usuarios, haciendo diversas visitas a las nuevas familias que habitan en el municipio de Girón y a las nuevas edificaciones de los sectores; informando y convenciendo a los usuarios con el portafolio de servicios y tarifas de Econatural S.A E.S.P.

La lista de los nuevos habitantes del municipio la facilita el acueducto y alcantarillado de Bucaramanga mensualmente, con el fin de programar las visitas.

- **Disponibilidad del vehículo y tripulación**

Horario laboral:	Lunes-sábado-festivos 5 am- 3pm
Número de usuarios	12147
Número de vehículos	3; 2 compactadores - 1 volqueta
Capacidad compactador	15 tn
Número de conductores	2
Frecuencias	3
Rutas	5
Tamaño de la tripulación	3: reciclaje; 4: residuos solidos
Número de viajes por vehículo	2 - 3

- **ELABORACIÓN DE RUTAS**

Econatural S.A E.S.P selecciona la organización de los barrios para recolección por medio de 5 rutas preestablecidas; puesto que se actualiza cada vez que ingresan nuevos usuarios; aunque pocas veces se modifican ya que por lo general

las nuevas afiliaciones provienen de los barrios ya establecidos, solo se modifica en el caso de ingresar usuarios de nuevas edificaciones, nuevos sectores industriales o comerciales.

- Criterios de Organización de Rutas. Finalizada el almacenamiento de la información se procede a la organización de las rutas siguiendo los lineamientos descritos a continuación

- Según cumplimiento de la norma, decreto 2981 de 2013, el cual dice que una empresa recolectora de basuras mínimo debe operar con dos frecuencias

- Comercialización- Competencia: actualmente su potencial competidor a nivel del municipio de Girón es Caralimpia S.A. E.S.P el cual prosee tres frecuencias, por tanto la empresa para competir por usuarios optó por estandarizarse al mismo nivel, para lograr permanencia y crecimiento en el mercado de recolección de basuras.

- Las rutas se van modificando a medida que van ingresando usuarios, por política de la empresa para entrar a un sector como mínimo debe registrar el 70% de afiliaciones del sector para iniciar operaciones. Se entiende por sector a los barrios del municipio.

- La directriz importante para la agrupación de los barrios de las respectivas rutas, se realiza teniendo en cuenta las distancias para facilitar la recolección por parte de los operarios y por cuestiones de ahorro de tiempo, distancia y combustible.

- Elaboración del documento de ruta. Establecidas las rutas digitadas en Excel, se imprimen para ser entregadas a los conductores como guía de trabajo diario.

- Monitoreo- resumen diario operativo. Una forma de llevar un control o supervisión del trabajo diario de los conductores, operarios de recolección y barrido es por medio de unas planillas de control diario operativo; donde se registran formatos de reporte diario de supervisión (novedades de vehículos,

novedades del personal, brigadas de barrido para mejoramiento, actividades diarias.), reporte diario de recolección(hora, ruta, zona, kilometraje, tonelaje, datos del vehículo, hora de iniciación y finalización de la operación, suministro de combustible, mantenimiento del vehículo), inspección del servicio de barrido e inspección del servicio de recolección y transporte; labor que supervisa el coordinador operativo.

- Facturación y cobro. Para definir la tarifa de los servicios Econatural S.A E.S.P establece unos precios de acuerdo al estrato de la zona residencial o comercial a prestar el servicio. Tarifa que incluye barrido de vías públicas, recolección de residuos sólidos.

El servicio especial, está constituido por recolección de podas y residuos de jardines, escombros, tierra y/o inservibles; los residuos de servicios especiales deberán presentarse debidamente empacados en bolsas o sacos; en caso de no encontrarse en forma debida, el precio será el doble al estipulado. Tarifas servicios especiales.

**ANEXO F. Tarifas del servicio de Recolección de residuos sólidos Econatural
S.A E.S.P**

TARIFAS ACTUALIZADAS GIRÓN JULIO 2014									
ESTRATO	TDI	TBL	TRT	TTE	TDF	TFR	SUB-APORTES	%	TARIFA
T1	0,075	3.388	5.941	0	1.702	1.824	-1.928	0,85	10.927
T2	0,075	3.388	5.941	0	1.702	1.824	-1.028	0,92	11.827
T3	0,075	3.388	5.941	0	1.702	1.824	-643	0,95	12.212
T4	0,079	3.388	6.245	0	1.789	1.853	0	1	13.275
T5	0,087	3.388	6.792	0	1.942	1.906	7.016	1,5	21.048
T6	0,122	3.388	9.526	0	2.729	2.169	10.688	1,6	28.501
PPI	0,248	3.388	19.127	0	5.479	3.096	9.327	1,3	40.417
PPC	0,248	3.388	19.127	0	5.479	3.096	15.545	1,5	46.635
PPO	0,248	3.388	19.127	0	5.479	3.096	0	1	31.090
GPI	0,744	3.388	57.103	0	16.358	6.760	25.083	1,3	108.691
GPC	0,744	3.388	57.103	0	16.358	6.760	41.804	1,5	125.413
GPO	0,744	3.388	57.103	0	16.358	6.760	0	1	83.609

SERVICIOS ESPECIALES	PRECIO
Poda	\$ 10000 m³
escombros	\$ 24000 m³ - \$ 2950 bulto
inservibles	\$ 9200 /und

ANEXO G. Rutas de recolección ECONATURAL S.A E.SP

RUTAS DE RECOLECCIÓN LUNES, MIÉRCOLES Y VIERNES

RUTA 1

Hora prom inicio 4:35 am	Hora prom finalización 3:20 pm
kilometraje recorrido	68,58
PUNTO	BARRIO
1	Plaza
2	la Rinconada CR
3	Torres Carrizal iii y iv
4	Conjunto San Juan
5	La Rivera
6	Muralla I y II
7	Parqueadero el Gran Monarca
8	Los recicladores
9	Barrio Tejar
10	Barrio Sagrado corazón
11	Torres la Fuente
12	Barrio la Campiña
13	Barrio Altos de la Campiña
14	Barrio Eloy Valenzuela
15	Barrio Llanito II
16	Barrio Quintas del Llanito
17	Barrio Villa Carolina
18	Abemol Bodegas
19	Bodegas Garibaldi
20	Tránsito de Girón
21	Barrio Paraíso parte Alta
22	Barrio Coorviandi III
23	Barrio Poblado
24	Supermercado Megafruver
25	La plaza el Poblado
26	Puente Triangulo
25	Cali Broaster

RUTAS DE RECOLECCIÓN
LUNES, MIÉRCOLES Y VIERNES

RUTA 2

Hora prom inicio 4:18 am	Hora prom finalización 11:12 am
kilometraje recorrido	44
PUNTO	BARRIO
1	Barrio Rincón alto
2	Barrio Villa Campestre I y II
3	Parqueadero Lenguerke
4	Barrio Balcón del portal
5	Barrio Rio de oro II
6	Rincón bajo
7	Castilla II
8	Av. Caneyes
9	Maxifruver Villamil
10	Bodegas San Jorge
11	Frigorífico Rio Frio
12	Petroco
13	Al campo

RUTAS DE RECOLECCIÓN
LUNES, MIÉRCOLES Y VIERNES

RUTA 3

PUNTO	BARRIO
1	Viaje de poda puntos programados
2	BARRIDO

**RUTAS DE RECOLECCIÓN
MARTES, JUEVES Y SÁBADO**

RUTA 4

Hora prom inicio 4:20 am	Hora prom finalización 3:06 pm
kilometraje recorrido	66,5
PUNTO	BARRIO
1	Barrio Villa Campestre III y IV
2	Av. Caneyes
3	Barrio Casalinda
4	Barrio Villa linda
5	Barrio Balcones de Galicia
6	Barrio Guayacanes
7	Ciudadela Villamil
8	Barrio Portal Campestre CII 19
9	Supermercado Maxifruver
10	Barrio Prados de Cataluña
11	Barrio el Consuelo
12	Barrio Corviandi 1 Etapa
13	Torres de Gironela
14	Barrio 1 de Mayo
15	Barrio Arenales Campestre
16	Barrio Arenales I,II,III,IV
17	Carrizal Campestre – S. Antonio C.
18	Parqueadero la Toloza
19	Supermercado Megafruver
20	Plaza Poblado
21	Puente Triangulo
22	Av. Cra 26

RUTAS DE RECOLECCIÓN
MARTES, JUEVES Y SÁBADO

RUTA 5

Hora prom inicio 4:27 am	Hora prom finalización 1:31 pm
kilometraje recorrido	56,45
PUNTO	BARRIO
1	Recicladora
2	Cra 26
3	Barrio Villas de San Juan cll 10B
4	Barrio Meseta 2
5	Barrio Jardín de Arenales
6	Barrio Progreso
7	Barrio Rio Prado
8	Barrio Altos de Arenales
9	Barrio los Macarrones
10	Barrio Gallineral.
11	Barrio Santa Cruz
12	Barrio Rio de Oro
13	Barrio Morada San Juan
14	Zona industrial chimita

ANEXO H. Decreto 2981 de 2013

REPÚBLICA DE COLOMBIA



Libertad y Orden

SECRETARÍA DE ESTADO
SECRETARÍA DE ESTADO
Revisión
Fecha

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

DECRETO NÚMERO 2981

20 DIC 2013

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo"

El Presidente de la República de Colombia

En uso de sus atribuciones previstas en el artículo 189, numeral 11 de la Constitución Política, la Ley 142 de 1994 modificada por la Ley 689 de 2001 y,

CONSIDERANDO:

Que la Ley 142 de 1994 establece el régimen general de los servicios públicos domiciliarios, incluido el servicio público de aseo.

Que el artículo 14.24 de la Ley 142 de 1994, modificado por el artículo 1 de la Ley 689 de 2001, define el servicio público de aseo como "El servicio de recolección municipal de residuos principalmente sólidos. También se aplicará esta ley a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos. Igualmente incluye, entre otras, las actividades complementarias de corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas; de lavado de estas áreas, transferencia, tratamiento y aprovechamiento."

Que mediante el Decreto 1713 de 2002, se reglamentó la Ley 142 de 1994, la Ley 99 de 1993 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en relación con la prestación del servicio público de aseo.

Que el artículo 251 de la Ley 1450 de 2011 establece que "*Las autoridades ambientales, personas prestadoras o entidades territoriales no podrán imponer restricciones sin justificación técnica al acceso a los rellenos sanitarios y/o estaciones de transferencia.*"

DECRETA:

TÍTULO I

Artículo 1 **Ámbito de aplicación.** El presente decreto aplica al servicio público de aseo de que trata la Ley 142 de 1994, a las personas prestadoras de residuos aprovechables y no aprovechables, a los usuarios, a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, a las entidades territoriales y demás entidades con funciones sobre este servicio.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Este decreto no aplica a la actividad disposición final, la cual seguirá rigiéndose por lo dispuesto en el Decreto 838 de 2005 o la norma que lo modifique adicione o sustituya.

Tampoco aplica a la gestión de residuos peligrosos, la cual se rige por lo dispuesto en las normas ambientales.

CAPITULO I

DEFINICIONES

Artículo 2. Definiciones. Para los efectos de este decreto, se adoptan las siguientes definiciones:

Aforo: Es el resultado de las mediciones puntuales, que realiza un aforador debidamente autorizado por la persona prestadora, respecto de la cantidad de residuos sólidos que produce y presenta un usuario de manera individual o conjunta al prestador del servicio de aseo.

Aforo extraordinario de aseo para multiusuarios: Es el resultado de las mediciones puntuales realizadas por la persona prestadora del servicio público de aseo, de oficio o a petición del multiusuario, cuando alguno de ellos considere que ha variado la cantidad de residuos producidos con respecto al aforo vigente.

Aforo ordinario de aseo para multiusuarios: Es el resultado de las mediciones puntuales realizadas por la persona prestadora del servicio público de aseo, para categorizar y cobrar como multiusuarios a aquellos suscriptores que optaron por ésta opción tarifaria.

Aforo permanente de aseo: Es el que realiza la persona prestadora del servicio público de aseo a los suscriptores grandes productores o pequeños productores de residuos sólidos, cuando efectúa la recolección de los residuos presentados por el usuario.

Almacenamiento de residuos sólidos: Es la acción del usuario de guardar temporalmente los residuos sólidos en depósitos, recipientes o cajas de almacenamiento, retornables o desechables, para su recolección por la persona prestadora con fines de aprovechamiento o de disposición final.

Aprovechamiento: Es la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje.

Área de prestación de servicio: Corresponde a la zona geográfica del municipio o distrito debidamente delimitada donde la persona prestadora ofrece y presta el servicio de aseo. Esta deberá consignarse en el contrato de condiciones uniformes.

Área pública: Es aquella destinada al uso, recreo o tránsito público, como parques, plazas, plazoletas y playas salvo aquellas con restricciones de acceso.

Barrido y limpieza de vías y áreas públicas: Es la actividad del servicio público de aseo que consiste en el conjunto de acciones tendientes a dejar las áreas y la vías públicas libres de todo residuo sólido, esparcido o acumulado, de manera que dichas áreas queden libres de papeles, hojas, arenilla y similares y de cualquier

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

otro objeto o material susceptible de ser removido manualmente o mediante el uso de equipos mecánicos.

Barrido y limpieza manual: Es la labor realizada manualmente para retirar de las vías y áreas públicas papeles, hojas, arenilla acumulada y cualquier otro objeto o material.

Barrido y limpieza mecánica: Es la labor realizada mediante el uso de equipos mecánicos para retirar de las vías y áreas públicas, papeles, hojas, arenilla acumulada y cualquier otro objeto o material.

Báscula: Instrumento técnico de medida mecánico o electrónico debidamente calibrado y certificado por la entidad competente, acorde con las normas vigentes que regulan la materia, para determinar el peso de los residuos sólidos.

Caja de almacenamiento: Es el recipiente técnicamente apropiado, para el depósito temporal de residuos sólidos de origen comunitario, en condiciones de aislamiento que facilite el manejo o remoción por medios mecánicos o manuales.

Corte de césped: Es la actividad del servicio público de aseo que consiste en cortar el pasto ubicado en áreas verdes públicas sin restricción de acceso, mediante el uso de equipos manuales o mecánicos que incluye el bordeado y plateado. Comprende la recolección y transporte del material obtenido hasta los sitios de aprovechamiento prioritariamente o de disposición final.

Cuneta: Zanja, revestida o no, ubicada a cada lado de las vías, destinadas a facilitar el drenaje superficial longitudinal de las mismas y que son objeto de barrido o limpieza por parte del prestador del servicio de aseo en su área de atención.

Estación de clasificación y aprovechamiento: Son instalaciones técnicamente diseñadas con criterios de ingeniería y eficiencia económica, dedicadas al pesaje y clasificación de los residuos sólidos aprovechables, mediante procesos manuales, mecánicos o mixtos y que cuenten con las autorizaciones ambientales a que haya lugar.

Estaciones de transferencia: Son las instalaciones dedicadas al traslado de residuos sólidos de un vehículo recolector a otro con mayor capacidad de carga, que los transporta hasta su sitio de tratamiento o disposición final.

Frecuencia del servicio: Es el número de veces en un periodo definido que se presta el servicio público de aseo en sus actividades de barrido, limpieza, recolección y transporte, corte de césped y poda de árboles.

Generador o productor: Persona que produce y presenta sus residuos sólidos a la persona prestadora del servicio público de aseo para su recolección y por tanto es usuario del servicio público de aseo.

Gestión integral de residuos sólidos: Es el conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización. También incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables.

Grandes generadores o productores: Son los suscriptores y/o usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos sólidos en volumen igual o superior a un metro cúbico mensual.

Inmueble desocupado: Son aquellos inmuebles que a pesar de tener las condiciones para recibir la prestación del servicio de aseo, se encuentran

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

deshabitados o en ellos no se realiza ninguna actividad comercial, industrial o de otra índole.

Inquilinato: Es una edificación clasificada en estratos 1, 2 o 3, con una entrada común desde la calle, que aloja varios hogares y comparten servicios públicos domiciliarios. Para efectos del cobro del servicio de aseo el inquilinato en su conjunto se considera como un solo suscriptor.

Lavado de áreas públicas: Es la actividad de remoción de residuos sólidos en áreas públicas, mediante el empleo de agua a presión.

Lixiviado: Es el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

Macrorruta: Es la división geográfica de una ciudad, zona o área de prestación del servicio para la distribución de los recursos y equipos a fin de optimizar la actividad de recolección de residuos, barrido y limpieza de vías y áreas públicas y/o corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas.

Microrruta: Es la descripción detallada a nivel de las calles y manzanas del trayecto de un vehículo o cuadrilla, para la prestación del servicio público de recolección de residuos; de barrido y limpieza de vías y áreas públicas; y/o corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas, dentro de una frecuencia predeterminada.

Minimización de residuos sólidos en procesos productivos: Es la optimización de los procesos productivos tendiente a disminuir la generación de residuos sólidos.

Multiusuarios del servicio público de aseo: Son todos aquellos suscriptores agrupados en unidades inmobiliarias, centros habitacionales, conjuntos residenciales, condominios o similares bajo el régimen de propiedad horizontal vigente o concentrados en centros comerciales o similares, que se caracterizan porque presentan en forma conjunta sus residuos sólidos a la persona prestadora del servicio en los términos del presente decreto o las normas que lo modifiquen, sustituyan o adicione y que hayan solicitado el aforo de sus residuos para que esta medición sea la base de la facturación del servicio público de aseo. La persona prestadora del servicio facturará a cada inmueble en forma individual, en un todo de acuerdo con la regulación que se expida para este fin.

Pequeños generadores o productores: Son los suscriptores y/o usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos sólidos en volumen menor a un (1) metro cúbico mensual.

Persona prestadora del servicio público de aseo: Es aquella encargada de una o varias actividades de la prestación del servicio público de aseo, en los términos del artículo 15 de la Ley 142 de 1994 y demás que la modifiquen o complementen.

Plan de gestión integral de residuos sólidos, PGIRS: Es el instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos sólidos, basado en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de la medición de resultados. Corresponde a la entidad territorial la

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

formulación, implementación, evaluación, seguimiento y control y actualización del PGIRS.

Poda de árboles: Es la actividad del servicio público de aseo que consiste en el corte de ramas de los árboles, ubicado en áreas públicas sin restricciones de acceso, mediante el uso de equipos manuales o mecánicos. Se incluye la recolección y transporte del material obtenido hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento o disposición final.

Presentación de los residuos sólidos: Es la actividad del usuario de colocar los residuos sólidos debidamente almacenados, para la recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. La presentación debe hacerse, en el lugar e infraestructura prevista para ello, bien sea en el área pública correspondiente o en el sitio de presentación conjunta en el caso de multiusuarios y grandes productores.

Puntos críticos: Son aquellos lugares donde se acumulan residuos sólidos, generando afectación y deterioro sanitario que conlleva la afectación de la limpieza del área, por la generación de malos olores, focos de propagación de vectores, y enfermedades, entre otros.

Reciclador de oficio: Es la persona natural o jurídica que se ha organizado de acuerdo con lo definido en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994 y en este decreto para prestar la actividad de aprovechamiento de residuos sólidos.

Recolección y transporte de residuos aprovechables: Son las actividades que realiza la persona prestadora del servicio público de aseo consistente en recoger y transportarlos residuos aprovechables hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento.

Recolección puerta a puerta: Es el servicio de recolección de los residuos sólidos en el andén de la vía pública frente al predio del usuario.

Residuos de construcción y demolición: Es todo residuo sólido resultante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas.

Residuo sólido: Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles. Los residuos sólidos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables.

Residuo sólido aprovechable: Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso para quien lo genere, pero que es susceptible de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo.

Residuo sólido especial: Es todo residuo sólido que por su naturaleza, composición, tamaño, volumen y peso, necesidades de transporte, condiciones de almacenaje y compactación, no puede ser recolectado, manejado, tratado o dispuesto normalmente por la persona prestadora del servicio público de aseo. El precio del servicio de recolección, transporte y disposición de los mismos será pactado libremente entre la persona prestadora y el usuario, sin perjuicio de los que sean objeto de regulación del Sistema de Gestión Postconsumo.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Residuo sólido ordinario: Es todo residuo sólido de características no peligrosas que por su naturaleza, composición, tamaño, volumen y peso es recolectado, manejado, tratado o dispuesto normalmente por la persona prestadora del servicio público de aseo. El precio del servicio de recolección, transporte y disposición final de estos residuos se fija de acuerdo con la metodología adoptada por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Los residuos provenientes de las actividades de barrido y limpieza de vías y áreas públicas, corte de césped y poda de árboles ubicados en vías y áreas públicas serán considerados como residuos ordinarios para efectos tarifarios.

Separación en la fuente: Es la clasificación de los residuos sólidos, en aprovechables y no aprovechables por parte de los usuarios en el sitio donde se generan, de acuerdo con lo establecido en el PGIRS, para ser presentados para su recolección y transporte a las estaciones de clasificación y aprovechamiento, o de disposición final de los mismos, según sea el caso.

Sistema de pesaje: Es el conjunto ordenado y sistemático de equipos, elementos y maquinaria que se utilizan para la determinación certera del peso de los residuos objeto de gestión en uno o varios de las actividades del servicio público de aseo y que proporciona información con datos medibles y verificables.

Transferencia: Es la actividad complementaria del servicio público de aseo realizada al interior de una estación de transferencia, la cual consiste en trasladar los residuos sólidos de un vehículo recolector de menor capacidad a un vehículo de transporte a granel por medios mecánicos, previniendo el contacto manual y el esparcimiento de los mismos, con una mínima exposición al aire libre de los residuos.

Trasbordo: Es la actividad de trasladar los residuos sólidos recolectados, de un vehículo a otro de mayor capacidad, evitando el contacto manual y el esparcimiento de los residuos principalmente sólidos.

Unidad de almacenamiento: Es el área definida y cerrada, en la que se ubican las cajas de almacenamiento o similares para que el usuario almacene temporalmente los residuos sólidos, mientras son presentados a la persona prestadora del servicio público de aseo para su recolección y transporte.

Unidad Habitacional: Apartamento o casa de vivienda independiente con acceso a la vía pública o a las zonas comunes del conjunto multifamiliar y separada de las otras viviendas, de tal forma que sus ocupantes puedan acceder sin pasar por las áreas privadas de otras viviendas.

Unidad Independiente: Apartamento, casa de vivienda, local u oficina independiente con acceso a la vía pública o a las zonas comunes de la unidad inmobiliaria.

Usuario no residencial: Es la persona natural o jurídica que produce residuos sólidos derivados de la actividad comercial, industrial y los oficiales que se benefician con la prestación del servicio público de aseo.

Usuario residencial: Es la persona que produce residuos sólidos derivados de la actividad residencial y se beneficia con la prestación del servicio público de aseo. Se considera usuario residencial del servicio público de aseo a los ubicados en locales que ocupen menos de veinte (20) metros cuadrados de área, exceptuando los que produzcan más de un (1) metro cúbico mensual.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Vehículo recolector: Es el vehículo utilizado en las actividades de recolección de los residuos sólidos desde los lugares de presentación y su transporte hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento, plantas de aprovechamiento, estaciones de transferencia o hasta el sitio de disposición final.

Vía pública: Son las áreas destinadas al tránsito público, vehicular o peatonal, o afectadas por él, que componen la infraestructura vial de la ciudad y que comprende: avenidas, calles, carreras, transversales, diagonales, calzadas, separadores viales, puentes vehiculares y peatonales o cualquier otra combinación de los mismos elementos que puedan extenderse entre una y otra línea de las edificaciones.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES EN LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ASEO

Artículo 3. Principios básicos para la prestación del servicio de aseo. En la prestación del servicio público de aseo, y en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, se observarán los siguientes principios: prestación eficiente a toda la población con continuidad, calidad y cobertura; obtener economías de escala comprobables; garantizar la participación de los usuarios en la gestión y fiscalización de la prestación; desarrollar una cultura de la no basura; fomentar el aprovechamiento; minimizar y mitigar el impacto en la salud y en el ambiente que se pueda causar por la generación de los residuos sólidos.

Artículo 4. Calidad del servicio de aseo. El servicio público de aseo deberá prestarse en todas sus actividades con calidad y continuidad acorde con lo definido en el presente decreto, en la regulación vigente, en el programa de prestación del servicio y en el PGIRS con el fin de mantener limpias las áreas atendidas y lograr el aprovechamiento de residuos.

En caso que la condición de limpieza del área se deteriore por una causa ajena a la persona prestadora del servicio público de aseo, las autoridades de policía deberán imponer a los responsables las sanciones conforme a la Ley.

Igualmente, deberá considerar un programa de atención de fallas, emergencias y una atención oportuna al usuario.

Artículo 5. Continuidad del servicio. El servicio público de aseo se debe prestar en todas sus actividades de manera continua e ininterrumpida, con las frecuencias mínimas establecidas en este decreto y aquellas que por sus particularidades queden definidas en el PGIRS, salvo cuando existan razones de fuerza mayor o caso fortuito.

Artículo 6. Responsabilidad de la prestación del servicio público de aseo. De conformidad con la ley, es responsabilidad de los municipios y distritos asegurar que se preste a todos sus habitantes el servicio público de aseo de manera eficiente.

Artículo 7. Responsabilidad en el manejo de los residuos sólidos. La responsabilidad por los impactos generados por las actividades del servicio público de aseo, incluido el aprovechamiento, recaerá en la persona prestadora a partir del momento en que deba efectuar la recolección, la cual deberá cumplir con las disposiciones del presente decreto y demás normatividad vigente.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Parágrafo. Cuando se realice la comercialización de residuos sólidos aprovechables, la responsabilidad por los impactos causados será del agente económico que ejecute la actividad.

Artículo 8. Cobertura. Los municipios o distritos, deben garantizar la prestación del servicio de aseo a todos sus habitantes dentro de su territorio por parte de las personas prestadoras de servicio público de aseo independientemente del esquema adoptado para su prestación. Para ello deberá planificarse la ampliación permanente de la cobertura teniendo en cuenta, entre otros aspectos el crecimiento de la población y la producción de residuos.

Artículo 9. Función social y ecológica. Las personas que prestan el servicio público de aseo deben cumplir con las obligaciones de la función social y ecológica de la propiedad, de conformidad con lo dispuesto en la Constitución Política y en la ley.

Artículo 10. Economías de escala. El municipio o distrito, al adoptar el respectivo Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, deberá propender porque en la prestación del servicio de aseo se logren economías de escala teniendo en cuenta variables tales como: cantidad de residuos a manejar en cada una de las etapas de la gestión, nivel del servicio, calidad del servicio, densidad de las viviendas, innovación tecnológica de equipo, gestión administrativa, operativa y de mantenimiento del servicio, la asociación de municipios para la conformación de esquemas regionales, las condiciones y la localización de los componentes del sistema.

Artículo 11. Programa para la Prestación del Servicio de Aseo. Las personas prestadoras del servicio público de aseo deberán formular e implementar el Programa para la Prestación del Servicio acorde con el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del municipio o distrito y/o regional según el caso, la regulación vigente y lo establecido en este decreto.

Para efectos de la formulación de este programa, las personas prestadoras definirán: objetivos, metas, estrategias, campañas educativas, actividades y cronogramas, costos y fuentes de financiación de acuerdo con los lineamientos definidos por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Este programa igualmente deberá definir todos los aspectos operativos de los diferentes componentes del servicio que atienda el prestador, el cual deberá ser objeto de seguimiento y control por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos.

Parágrafo. El Programa para la Prestación del Servicio de Aseo debe revisarse y ajustarse de acuerdo con las actualizaciones del PGIRS y ser enviado a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios para su vigilancia y control, conforme a lo establecido en el artículo 3.4 de la Ley 142 de 1994.

Artículo 12. Libre competencia en el servicio público de aseo y actividades complementarias. Salvo en los casos expresamente consagrados en la Constitución Política y en la ley, existe libertad de competencia en la prestación del servicio público de aseo y sus actividades complementarias, para lo cual, quienes deseen prestarlo deberán adoptar cualquiera de las formas señaladas en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994.

Los prestadores del servicio público de aseo deben someterse a la competencia sin limitaciones de entrada de nuevos competidores, salvo por lo señalado por la Constitución Política, la Ley 142 de 1994 y el presente Decreto, de tal forma que se

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

favorezca la calidad, la eficiencia y la continuidad en la prestación del servicio en los términos establecidos en la normatividad vigente sobre la materia.

Artículo 13. Permisos ambientales. Quienes presten el servicio público de aseo deberán obtener los permisos, licencias y demás autorizaciones que la índole de sus actividades requiera, de conformidad con la normatividad ambiental vigente.

TÍTULO II

CAPÍTULO I

ACTIVIDADES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO

Artículo 14. Actividades del servicio público de aseo. Para efectos de este decreto se consideran como actividades del servicio público de aseo, las siguientes:

1. Recolección.
2. Transporte.
3. Barrido, limpieza de vías y áreas públicas.
4. Corte de césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas.
5. Transferencia.
6. Tratamiento.
7. Aprovechamiento
8. Disposición final.
9. Lavado de áreas públicas.

Artículo 15. Costos asociados al servicio público de aseo. Los costos asociados al servicio público de aseo, deberán corresponder a las actividades del servicio definidas en este decreto.

Igualmente, deberá incorporar los de limpieza de playas en áreas urbanas definidas por la entidad territorial en el PGIRS.

En el caso de los residuos de construcción y demolición así como de otros residuos especiales, el usuario que solicite este servicio será quien asuma los costos asociados con el mismo. Este servicio podrá ser suministrado por la persona prestadora del servicio público de aseo de conformidad con la normatividad vigente para este tipo de residuos.

Parágrafo. El precio por la prestación del servicio público de aseo para el manejo de residuos de construcción y demolición, así como de otros residuos especiales, será pactado libremente por el usuario que lo solicite y la persona prestadora del servicio.

Artículo 16. Programa de gestión del riesgo. La persona prestadora del servicio público de aseo deberá estructurar y mantener actualizado un programa de gestión del riesgo de acuerdo a la normatividad vigente, en las diferentes actividades de la prestación del servicio, el cual deberá ser presentado a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. En caso de presentarse un evento de riesgo la persona prestadora del servicio deberá ejecutar las medidas de mitigación y corrección pertinentes. Así mismo, el prestador deberá garantizar la capacitación de todo su personal sobre los procedimientos a seguir en caso de presentarse cualquier evento de riesgo.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico establecerá en el marco tarifario, el reconocimiento de la gestión integral del riesgo de acuerdo a la normatividad vigente.

CAPÍTULO II

ALMACENAMIENTO Y PRESENTACIÓN

Artículo 17. Obligaciones de los usuarios para el almacenamiento y la presentación de residuos sólidos. Son obligaciones de los usuarios del servicio público de aseo, en cuanto al almacenamiento y la presentación de residuos sólidos:

1. Almacenar y presentar los residuos sólidos, de acuerdo a lo dispuesto en este decreto, en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de los municipios o distritos, en los respectivos programas para la prestación del servicio público de aseo, aspectos que deben estar definidos en el Contrato de Servicios Públicos.
2. Realizar la separación de residuos en la fuente, tal como lo establezca el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del respectivo municipio o distrito para su adecuado almacenamiento y posterior presentación.
3. Presentar los residuos sólidos para la recolección en recipientes retornables o desechables, de acuerdo con lo establecido en el PGIRS de forma tal que facilite la actividad de recolección por parte del prestador. Preferiblemente la presentación de los residuos para recolección se realizará en recipientes retornables.
4. Almacenar en los recipientes la cantidad de residuos, tanto en volumen como en peso, acorde con la tecnología utilizada para su recolección.
5. Ubicar los residuos sólidos en los sitios determinados para su presentación, con una anticipación no mayor de tres (3) horas previas a la recolección de acuerdo con las frecuencias y horarios establecidos por el prestador.
6. Almacenar y presentar los residuos sólidos provenientes del barrido de andenes, de manera conjunta con los residuos sólidos originados en el domicilio.
7. Presentar los residuos en área pública, salvo condiciones pactadas con el usuario cuando existan condiciones técnicas y operativas de acceso a las unidades de almacenamiento o sitio de presentación acordado.

Parágrafo. Además de lo aquí dispuesto, los generadores de residuos sólidos deberán cumplir con las obligaciones que defina la autoridad sanitaria.

Artículo 18. Características de los recipientes retornables para almacenamiento de residuos sólidos. Los recipientes retornables, utilizados para almacenamiento y presentación de los residuos sólidos deberán tener las siguientes características básicas:

1. Proporcionar seguridad, higiene y facilitar el proceso de recolección de acuerdo con la tecnología utilizada por el prestador, tanto para la recolección de residuos con destino a disposición final como a procesos de aprovechamiento.
2. Tener una capacidad proporcional al peso, volumen y características de los residuos que contengan.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

3. Ser de material resistente, para soportar la tensión ejercida por los residuos sólidos contenidos y por su manipulación y se evite la fuga de residuos o fluidos.

Parágrafo. En los casos de manipulación manual de los recipientes, este y los residuos depositados no deben superar un peso de 50 Kg. Para el caso de usuarios no residenciales, la connotación del peso del recipiente deberá estar sujeta a las normas técnicas que establezca la persona prestadora del servicio respectivo en el contrato de servicios públicos de condiciones uniformes, según la infraestructura que se utilice o esté disponible.

Los recipientes retornables para el almacenamiento de residuos sólidos en el servicio, deberán ser lavados por el usuario de tal forma que al ser presentados estén en condiciones sanitarias adecuadas.

Artículo 19. Características de los recipientes no retornables. Los recipientes no retornables, utilizados para almacenamiento y presentación de los residuos sólidos deberán tener las siguientes características básicas:

1. Proporcionar seguridad, higiene y facilitar el proceso de recolección de acuerdo con la tecnología utilizada por el prestador, tanto para la recolección de residuos con destino a disposición final como a procesos de aprovechamiento.
2. Tener una capacidad proporcional al peso, volumen y características de los residuos que contengan.
3. De material resistente para soportar su manipulación.
4. Facilitar su cierre o amarre.

Artículo 20. Sistemas de almacenamiento colectivo de residuos sólidos. Todo usuario agrupado del servicio público de aseo, deberá tener una unidad de almacenamiento de residuos sólidos que cumpla como mínimo con los siguientes requisitos:

1. Los acabados deberán permitir su fácil limpieza e impedir la formación de ambientes propicios para el desarrollo de microorganismos.
2. Tendrán sistemas que permitan la ventilación, tales como rejillas o ventanas, y de prevención y control de incendios, como extintores y suministro cercano de agua y drenaje.
3. Serán construidas de manera que se evite el acceso y proliferación de insectos, roedores y otras clases de vectores, y que impida el ingreso de animales domésticos.
4. Deberán tener una adecuada ubicación y accesibilidad para los usuarios.

Deberán contar con recipientes o cajas de almacenamiento de residuos sólidos para realizar su adecuado almacenamiento y presentación, teniendo en cuenta la generación de residuos y las frecuencias y horarios de prestación del servicio de recolección y transporte.

Parágrafo 1. Los usuarios serán los responsables de mantener aseadas, desinfectadas y fumigadas las unidades de almacenamiento, atendiendo los requisitos y normas para esta última actividad.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Parágrafo 2. Cuando se realicen actividades de separación, las unidades de almacenamiento deberán disponer de espacio suficiente para realizar el almacenamiento de los materiales, evitando su deterioro.

Parágrafo 3. El usuario agrupado podrá elegir entre la presentación de los residuos en el andén o en la unidad de almacenamiento cuando así se pacte y las condiciones técnicas así lo permitan. En todo caso, deberá contar con los recipientes suficientes para el almacenamiento, de acuerdo con la generación de residuos, y las frecuencias y horarios de prestación del servicio de aseo.

Parágrafo 4. Las plazas de mercado, cementerios, mataderos o frigoríficos, estadios, terminales de transporte deben establecer programas internos de almacenamiento y presentación de residuos, de modo que se minimice la mezcla de los mismos y se facilite el manejo y posterior aprovechamiento, en especial de los de origen orgánico.

Artículo 21. Empaque de los residuos para evacuación por ductos. Los residuos sólidos que sean evacuados por ductos, serán empacados en recipientes no retornables que reúnan las características exigidas en el presente decreto y de acuerdo con el tamaño de los ductos.

Artículo 22. Sitios de ubicación para la presentación de los residuos sólidos. La presentación de los residuos se podrá realizar, en la unidad de almacenamiento o en el andén en el caso de multiusuarios. Los demás usuarios deberán presentarlos en el andén del inmueble del generador, salvo que se pacte con el prestador otro sitio de presentación.

La presentación de los residuos sólidos, deberá cumplir lo previsto en el presente decreto, evitando la obstrucción peatonal o vehicular y con respeto de las normas urbanísticas vigentes en el respectivo municipio o distrito, de tal manera que se facilite el acceso para los vehículos y personas encargadas de la recolección y la fácil limpieza en caso de presentarse derrames accidentales.

Artículo 23. Obligación de trasladar residuos sólidos hasta los sitios de recolección. En el caso de urbanizaciones, barrios o agrupaciones de viviendas y/o demás predios que por sus condiciones impidan la circulación de vehículos de recolección, así como en situaciones de emergencia, los usuarios están en la obligación de trasladar los residuos sólidos hasta el sitio determinado por la persona prestadora del servicio público de aseo, particularidad que deberá reflejarse en menores tarifas.

En estos casos, la persona prestadora del servicio público de aseo deberá determinar los sitios de recolección de los residuos, los horarios y frecuencias de recolección, de tal manera que se evite la acumulación prolongada de los residuos en el espacio público.

Artículo 24. Características de las cajas de almacenamiento. Las cajas de almacenamiento deben cumplir con las siguientes condiciones:

1. El tamaño, la capacidad y el sistema de cargue y descargue de las cajas de almacenamiento, serán determinados por la persona prestadora del servicio público de aseo con el objetivo de que sean compatibles con su equipo de recolección y transporte.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

2. Las dimensiones y capacidad deben ser tales que permitan el almacenamiento de la totalidad de los residuos sólidos producidos de acuerdo con las frecuencias de recolección.
3. Deben estar provistas de elementos que eviten la humedad, el depósito de aguas lluvias, la dispersión de los residuos, el acceso de animales y la proliferación de vectores.

Debe colocarse la cantidad requerida de cajas que garanticen el almacenamiento de la totalidad de los residuos generados, acorde con la frecuencia de recolección establecida por la persona prestadora del servicio de recolección y transporte.

Parágrafo. En las cajas de almacenamiento únicamente se podrán depositar los residuos sólidos ordinarios.

Artículo 25. Sitios de ubicación para las cajas de almacenamiento. El sitio escogido para ubicar cajas de almacenamiento para residuos sólidos, deberá permitir, como mínimo, lo siguiente:

1. Accesibilidad para los usuarios.
2. Accesibilidad y facilidad para el manejo y la recolección de los residuos sólidos por parte del prestador.
3. Tránsito de peatones o de vehículos, según el caso.
4. Asegurar condiciones de higiene y de estética con el entorno.
5. Tener la aceptación de la comunidad usuaria y de la persona prestadora del servicio público de aseo.
6. Su colocación dentro de una propiedad horizontal o privada debe cumplir con las normas vigentes sobre la materia.
7. Deberán adoptarse medidas de señalización y seguridad para evitar accidentes.
8. Evitar el acceso de animales.

Artículo 26. Ubicación de cajas de almacenamiento en áreas públicas. La colocación de cajas de almacenamiento en áreas públicas debe contar con la autorización de la entidad territorial a través de la autoridad urbanística local o quien haga sus veces, atendiendo las necesidades del servicio público de aseo.

CAPÍTULO III

RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

Artículo 27. Recolección separada. La recolección de los residuos sólidos ordinarios debe hacerse en forma separada de los residuos especiales.

En el caso de los residuos ordinarios y cuando el PGIRS establezca programas de aprovechamiento, la recolección de residuos con destino a disposición final deberá realizarse de manera separada de aquellos con posibilidad de aprovechamiento, implementando procesos de separación en la fuente y presentación diferenciada de residuos.

Artículo 28. Requisitos de la actividad de recolección. La actividad de recolección se realizará observando entre otros los siguientes requisitos:

1. La recolección deberá efectuarse de modo tal que se minimicen los impactos, en especial el ruido y se evite el esparcimiento de residuos en la

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

- vía pública, cumpliendo la normativa vigente. En caso de que se esparzan residuos durante la recolección, es deber de la persona prestadora realizar inmediatamente la limpieza correspondiente dejando el área libre de residuos para mantener la condición de limpieza de la misma.
2. Para garantizar la actividad de recolección, las personas prestadoras deberán contar con los equipos y mecanismos suficientes que garanticen la suplencia en los casos de averías y el mantenimiento de los mismos. Estos equipos deberán cumplir con las características de los vehículos recolectores definidas en este decreto. El servicio de recolección de residuos no podrá ser interrumpido por fallas mecánicas.
 3. El servicio de recolección de residuos aprovechables y no aprovechables se prestará de acuerdo con lo establecido en el PGIRS, de tal forma que no se generen riesgos a la salud pública.
 4. En las zonas en las cuales se utilice el sistema de recolección en cajas de almacenamiento, las personas prestadoras del servicio público de aseo deberán instalar las que sean necesarias de acuerdo a la generación de residuos, frecuencias y horarios de la prestación del servicio, para que los residuos sólidos depositados no desborden su capacidad.
 5. La operación de compactación deberá efectuarse en zonas donde causen la mínima molestia a los residentes. En ningún caso esta operación podrá realizarse frente a centros educativos, hospitales, clínicas o cualquier clase de centros asistenciales.
 6. Será responsabilidad de la persona prestadora del servicio público de aseo capacitar al personal encargado del manejo de residuos, dotarlo de equipos de protección personal, identificación, uniformes de trabajo con aditamentos reflectivos y demás implementos así como condiciones conforme a la normativa vigente en materia laboral y de salud ocupacional.
 7. Los lixiviados almacenados en el vehículo que se originen durante la recolección y transporte de los residuos sólidos ordinarios serán depositados en el sitio de disposición final para su respectivo tratamiento.

Parágrafo. Cuando la recolección sea manual, el proceso de recolección deberá cumplir con lo dispuesto en las normas sobre seguridad industrial.

Artículo 29. Sistemas de recolección. La recolección de residuos debe realizarse a partir de su presentación en la acera, unidades de almacenamiento o cajas de almacenamiento. Cuando existan, restricciones de acceso para los vehículos recolectores, el prestador, previa evaluación técnica, podrá realizar la recolección utilizando cajas de almacenamiento, o cualquier sistema alternativo que garantice su recolección.

Artículo 30. Recolección en zonas suburbanas, rurales y centros poblados rurales. Para la prestación del servicio de recolección en las zonas suburbanas, rurales y centros poblados rurales se contemplarán las siguientes condiciones:

1. Existencia de vías adecuadas, de tal manera que se pueda hacer la recolección domiciliaria a lo largo de éstas o al menos en sitios de almacenamiento colectivo previamente convenidos con la comunidad.
2. En los sitios de almacenamiento colectivo debe haber condiciones de maniobrabilidad para los vehículos recolectores y de fácil acceso para los usuarios.
3. La ubicación del sitio para el almacenamiento colectivo no debe causar molestias e impactos a la comunidad vecina.
4. Disponer de cajas de almacenamiento adecuadas y suficientes para iniciar allí la presentación y almacenamiento de los residuos sólidos, aprovechables

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

y no aprovechables, por parte de la comunidad de acuerdo con la frecuencia de recolección. La frecuencia, día y hora de recolección debe ser de obligatorio cumplimiento por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo con el fin de evitar la acumulación de residuos sólidos en estos sitios.

Artículo 31. Establecimiento de macrorrutas y microrrutas. Las personas prestadoras del servicio público de aseo deberán establecer las macrorrutas y microrrutas que deben seguir cada uno de los vehículos recolectores en la prestación del servicio, de acuerdo con las necesidades y cumpliendo con las normas de tránsito. Estas rutas deberán diseñarse atendiendo a la eficiencia en la asignación de recursos físicos y humanos.

Para el diseño de macrorrutas y microrrutas deberá tenerse en cuenta, entre otros aspectos, los siguientes:

1. Tipo de vías existentes (principales y secundarias, con separadores, estado de la vía) en los municipios y de alto tráfico vehicular y peatonal.
2. Uso del suelo (residencial, comercial, industrial, etc.).
3. Ubicación de hospitales, clínicas y entidades similares de atención a la salud, así como entidades asistenciales.
4. Recolección en zonas industriales.
5. Zonas de difícil acceso.
6. Tipo de usuario o generador.
7. Ubicación de áreas públicas como plazas, parques o similares.
8. Presencia de barreras geográficas naturales o artificiales.
9. Tipo de residuos según sean aprovechables o no aprovechables.

Artículo 32. Horarios de recolección. La persona prestadora del servicio público de aseo determinará el horario de la recolección de los residuos sólidos teniendo en cuenta la cantidad de residuos generados, las características de cada zona, la jornada de trabajo, el clima, la capacidad de los equipos, las dificultades generadas por el tráfico vehicular o peatonal y cualquier otro elemento que pueda tener influencia en la prestación del servicio.

Parágrafo. Cuando la recolección se efectúe entre las 21:00 horas y las 06:00 horas del día siguiente en zonas residenciales, hoteles, hospitales, clínicas y demás centros asistenciales deberán tomarse medidas especiales para mitigar el ruido en la recolección y la compactación.

Artículo 33. Frecuencias de recolección. La frecuencia de recolección dependerá de la naturaleza y cantidad de generación de residuos, de los programas de aprovechamiento de la zona, cuando haya lugar a ello, y características del clima, entre otros. En el caso de servicios a grandes generadores, la frecuencia dependerá de las cantidades y características de la producción.

Parágrafo. La frecuencia mínima de recolección y transporte de residuos no aprovechables será de dos (2) veces por semana.

Artículo 34. Divulgación de frecuencias, rutas y horarios. La recolección se efectuará según horarios y frecuencias en las macrorrutas y microrrutas establecidas previamente en el programa de prestación del servicio, las cuales deberán darse a conocer a los usuarios, utilizando medios masivos de difusión de amplia circulación local. En las facturas de cobro del servicio público de aseo,

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

deberá informarse las frecuencias de las diferentes actividades de recolección del servicio.

El prestador del servicio deberá publicar en la página web las rutas y horarios de prestación de las diferentes actividades de recolección del servicio.

Artículo 35. Cumplimiento de las rutas. Las rutas y horarios deberán ser cumplidas por las personas prestadoras del servicio público de aseo de conformidad con los contratos de prestación del servicio público de aseo. Todo cambio en las rutas, horarios o frecuencias deberá ser comunicado con tres (3) días de anterioridad a los usuarios afectados, salvo caso fortuito o de fuerza mayor, utilizando medios masivos de difusión de amplia circulación local y página web cuando se disponga de ella. En caso de presentarse averías en un vehículo del servicio, deberá enviar el auxilio mecánico o remplazarlo con el equipo de suplencia de conformidad con lo establecido en este decreto, restableciendo el servicio en un término máximo de tres (3) horas a partir del momento en que se presente la avería. Sólo podrá suspenderse el servicio por motivos de fuerza mayor o caso fortuito, debidamente comprobados.

Para los eventos de fuerza mayor o caso fortuito, en que sea imposible la prestación del servicio, la persona prestadora del servicio público de aseo deberá implementar las medidas para restablecer el servicio en el menor tiempo posible.

Artículo 36. Normas sobre recolección a partir de cajas de almacenamiento. La recolección mediante cajas de almacenamiento se sujetará, entre otras, a las siguientes condiciones:

1. Se empleará para aquellos usuarios que individual o colectivamente generen residuos en cantidad suficiente que justifique su utilización a juicio de la persona prestadora del servicio público de aseo.
2. Se utilizarán también cajas de almacenamiento en aquellas áreas en las cuales no existan unidades de almacenamiento o infraestructura vial, o la existente resulte insuficiente para permitir el ingreso de los vehículos de recolección. En tales casos, la persona prestadora del servicio público de aseo coordinará con los usuarios o la comunidad el traslado de los residuos hasta las cajas de almacenamiento.
3. Las cajas de almacenamiento deberán ser compatibles con los vehículos destinados a este tipo de recolección.
4. En áreas públicas, la persona prestadora del servicio público de aseo deberá determinar la conveniencia de ubicar las cajas de almacenamiento en un sitio específico, para la recolección de los residuos, con el fin de evitar que se generen puntos críticos.
5. Las cajas de almacenamiento localizadas en áreas públicas deberán mantenerse en un adecuado estado de presentación, limpieza e higiene por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo.

Artículo 37. Características de los vehículos de recolección y transporte de residuos sólidos. Los vehículos para la prestación del servicio de aseo, empleados en las actividades de recolección y transporte de residuos con destino a disposición final, deberán tener, entre otras, las siguientes características:

1. Los vehículos recolectores deberán ser motorizados, y estar claramente identificados (color, logotipos, placa de identificación, entre otras características).

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

2. En los municipios o distritos con más de 5.000 usuarios en el servicio público de aseo, deberán estar provistos de equipo de comunicaciones.
3. En los distritos o municipios con más de 5.000 usuarios en el servicio público de aseo, deberán contar con equipos de compactación de residuos. Se exceptúan aquellos que se destinen a la recolección de residuos separados con destino al aprovechamiento, manejo de residuos de construcción y demolición y otros residuos que no sean susceptibles de ser compactados.
4. La salida del tubo de escape debe estar hacia arriba y por encima de su altura máxima. Se deberá cumplir con las demás normas vigentes para emisiones atmosféricas y ajustarse a los requerimientos de tránsito.
5. Los vehículos con caja compactadora deberán tener un sistema de compactación que pueda ser detenido en caso de emergencia.
6. Las cajas compactadoras de los vehículos destinados a la recolección y transporte de los residuos sólidos con destino a disposición final, deberán ser de tipo de compactación cerrada, de manera que impidan la pérdida del líquido (lixiviado), y contar con un mecanismo automático que permita una rápida acción de descarga.
7. Los equipos destinados a la recolección deberán tener estribos con superficies antideslizantes, y manijas adecuadas para sujetarse de tal forma que el personal pueda transportarse momentáneamente en forma segura.
8. Los equipos deberán posibilitar el cargue y el descargue de los residuos sólidos almacenados de forma tal que evite la dispersión de estos y la emisión de partículas.
9. Deberán estar diseñados de tal forma que no se permita el esparcimiento de los residuos sólidos durante el recorrido.
10. En los vehículos que no utilicen caja compactadora, los residuos sólidos deberán estar cubiertos durante el transporte, de manera que se reduzca el contacto con la lluvia, el viento y se evite el esparcimiento e impacto visual. Así mismo, deberán estar provistos de mecanismos que eviten la pérdida del líquido (lixiviado).
11. En los vehículos destinados a la recolección a partir de cajas de almacenamiento, deberán contar con un sistema adecuado para levantarlas y descargar su contenido en el vehículo recolector.
12. Las especificaciones de los vehículos deberán corresponder a la capacidad y dimensión de las vías públicas.
13. Deberán cumplir con las especificaciones técnicas existentes para no afectar la salud ocupacional de los conductores y operarios.
14. Deberán estar dotados con equipos de carretera y de atención de incendios.
15. Deberán estar dotados de dispositivos que minimicen el ruido, especialmente aquellos utilizados en la recolección de residuos sólidos en zonas residenciales y en las vecindades de hoteles, hospitales, clínicas, centros educativos, centros asistenciales e instituciones similares.
16. Estarán dotados de elementos complementarios tales como cepillos, escobas y palas para efectuar la limpieza de la vía pública en los casos de dispersión de residuos durante la operación de recolección, de forma que una vez realizada la recolección, no queden residuos diseminados en la vía pública.
17. Deberán estar dotados de balizas o luces de tipo estroboscópico, ubicadas una sobre la cabina y otra en la parte posterior de la caja de compactación, así como de luces en la zona de la tolva. Para los vehículos recolectores sin compactación las luces deberán estar ubicadas sobre la cabina.

Parágrafo. Los prestadores que por condiciones de capacidad, acceso o condiciones topográficas no puedan utilizar vehículos con las características

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

señaladas en este artículo deberán informarlo y sustentarlo ante la SSPD y esta entidad determinará la existencia de tales condiciones para permitir que se emplee otro tipo de vehículos.

Artículo 38. Condiciones de equipos y accesorios para recolección y transporte de residuos sólidos. Los equipos, accesorios y ayudas de que estén dotados los vehículos destinados para transporte de residuos sólidos, deberán mantenerse siempre en óptimas condiciones de funcionamiento para la prestación del servicio y contar con los registros que evidencien el seguimiento a las condiciones de operación de los equipos y accesorios.

Artículo 39. Lavado de los vehículos y equipos de recolección y transporte. Los vehículos de recolección y transporte de residuos sólidos deberán lavarse al final de la jornada diaria. El lavado debe realizarse en sitios diseñados para tal fin y no puede efectuarse en áreas públicas ni en fuentes o cuerpos de agua.

Artículo 40. Traspordo en la actividad de recolección. Cuando existan restricciones para el ingreso de los vehículos recolectores en zonas de difícil acceso, el prestador del servicio de aseo podrá utilizar vehículos con características distintas a las generales establecidas en este decreto para la recolección y posterior traspordo al vehículo recolector asignado a la respectiva microrruta.

En la actividad de traspordo se deberá evitar las afectaciones sanitarias por derrame y esparcimiento de residuos sólidos y líquidos. Los vehículos utilizados deberán cumplir con las normas de tránsito establecidas por la autoridad competente.

Los sitios de traspordo de residuos estarán ubicados en zonas donde no se genere afectación sobre la comunidad y su entorno; teniendo en cuenta la clasificación por sectores para los estándares máximos establecidos en las normas vigentes.

Los traspordos deben hacerse en zonas alejadas de hospitales, bibliotecas, hogares geriátricos, guarderías, zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.

Al hacer el traspordo, el compactador debe accionarse solo cuando sea estrictamente necesario, minimizando así la generación de ruido, igualmente se debe garantizar un acople funcional y operativo para evitar los efectos que se pudieren generar.

El traspordo de los residuos deberá hacerse directamente de un vehículo a otro, evitando que en la operación sean arrojados al suelo. El traspordo solo se podrá hacer desde vehículos cuya capacidad máxima sea de 750 Kilógramos.

Artículo 41. Recolección de residuos acumulados por el barrido manual de calles. La recolección y el transporte de los residuos sólidos provenientes del barrido manual de calles deben efectuarse por la persona prestadora del servicio de público de aseo en su área de prestación del servicio. Los residuos de barrido no podrán permanecer en las calles por más de ocho (8) horas una vez se hace la presentación para transportarlos.

Artículo 42. Recolección de residuos de poda de árboles y corte de césped. La recolección y transporte de los residuos sólidos originados por poda de árboles o arbustos, y corte del césped en áreas públicas, deberá realizarse por una persona

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

prestadora del servicio público de aseo. En lo posible estos residuos deben destinarse a procesos de aprovechamiento.

Parágrafo. Los operativos para la recolección de los árboles caídos en espacio público por situaciones de emergencia serán de responsabilidad de la entidad territorial, quien podrá contratar con la empresa prestadora del servicio público de aseo su recolección y disposición final. La entidad territorial deberá tomar las medidas para garantizar el retiro de estos residuos dentro de las ocho (8) horas siguientes de presentado el suceso con el propósito de preservar y mantener limpia el área.

Artículo 43. Recolección en plazas de mercado, mataderos y cementerios.

Para la recolección de los residuos ordinarios generados en las plazas de mercado, mataderos y cementerios del municipio o distrito, se utilizarán cajas de almacenamiento ubicadas estratégicamente, tanto para residuos aprovechables como no aprovechables.

La recolección de los residuos sólidos en estos lugares estará a cargo de las personas prestadoras del servicio de aseo y se debe efectuar en horarios que no interfieran el adecuado flujo vehicular y peatonal de la zona ni el desarrollo normal de las actividades de estos establecimientos.

Artículo 44. Recolección de animales muertos. Para la recolección de animales muertos de especies menores, que no excedan los 50 kg, abandonados en las vías y áreas públicas, la persona prestadora del servicio público de aseo efectuará el retiro en el transcurso de las seis (6) horas siguientes a la recepción de la solicitud, la cual puede ser presentada por cualquier ciudadano, para ser trasladados al sitio donde le indique la entidad territorial, en cumplimiento de las normas vigentes para el manejo y disposición final de este tipo de residuos. El pago de este servicio de recolección y transporte, así como de disposición final estará a cargo de la entidad territorial.

Parágrafo. La recolección de animales muertos que excedan los 50 kg, abandonados en las vías y áreas públicas, es responsabilidad de la entidad territorial.

Artículo 45. Recolección de residuos de construcción y demolición. La responsabilidad por el manejo y disposición de los residuos de construcción y demolición serán del generador, con sujeción a las normas que regulen la materia.

El municipio o distrito deberá coordinar con las personas prestadoras del servicio público de aseo o con terceros la ejecución de estas actividades y pactar libremente su remuneración para garantizar la recolección, transporte y disposición final adecuados. No obstante, la entidad territorial deberá tomar acciones para la eliminación de los sitios de arrojo clandestinos de residuos de construcción y demolición en vías, andenes, separadores y áreas públicas según sus características.

La persona prestadora del servicio público de aseo podrá prestar este servicio, y deberá hacerlo de acuerdo con las disposiciones vigentes. En cualquier caso, la recolección, transporte y disposición final de residuos de construcción y demolición deberá efectuarse en forma separada del resto de residuos.

El prestador del servicio público de aseo será responsable de la recolección de residuos de construcción y demolición residenciales cuando se haya realizado la

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

solicitud respectiva por parte del usuario y la aceptación por parte del prestador. En tales casos, el plazo para prestar el servicio solicitado no podrá superar cinco (5) días hábiles.

Artículo 46. Censo de puntos críticos. Las personas prestadoras del servicio público de aseo en las actividades de recolección y transporte en su área de prestación, harán censos de puntos críticos, realizarán operativos de limpieza y remitirán la información a la entidad territorial y la autoridad de policía para efectos de lo previsto en la normatividad vigente.

El municipio o distrito deberá coordinar con las personas prestadoras del servicio público de aseo o con terceros la ejecución de estas actividades y pactar libremente la remuneración.

Artículo 47. Almacenamiento y recolección de residuos generados en eventos y espectáculos masivos. El almacenamiento y presentación de residuos generados con ocasión de eventos y espectáculos masivos, en recintos cerrados o en áreas públicas es responsabilidad del organizador de los mismos, quien deberá contratar el servicio de aseo con una persona prestadora del servicio público de aseo.

El costo del servicio que preste la persona prestadora al organizador del evento será pactado libremente entre las partes, así como su forma de pago.

Se deberán separar los residuos sólidos aprovechables de los no aprovechables para lo cual el organizador del evento deberá proveer los recipientes necesarios y garantizar su transporte.

Artículo 48. Almacenamiento y recolección de residuos generados en puntos de ventas en áreas públicas. Los vendedores estacionarios localizados en áreas públicas, debidamente autorizados, deberán mantener limpios los alrededores de sus puestos de ventas, tener recipientes accesibles al público para el almacenamiento de los residuos generados en su actividad y presentarlos para su recolección a la persona prestadora del servicio público de aseo. El control y vigilancia de estas obligaciones estará a cargo de las autoridades de policía. Los vendedores estacionarios serán considerados suscriptores no residenciales.

Artículo 49. Responsabilidad por los residuos sólidos generados en el cargue y descargue de mercancías y materiales. Los responsables de cargue, descargue y transporte de mercancías o materiales, deberán recoger los residuos sólidos originados por esas actividades y entregarlos a la persona prestadora del servicio público de aseo. El control y vigilancia de esta obligación estará a cargo de las autoridades de policía.

Artículo 50. Monitoreo de la actividad de recolección de residuos sólidos. Las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en ciudades de más de un millón de habitantes deberán implementar sistemas de monitoreo, tales como:

1. Georeferenciación de las microrutas de recolección y transporte.
2. Posición Geográfica de los vehículos (GPS).
3. Monitoreo de tiempos y movimientos de los vehículos recolectores.

El cumplimiento de los anteriores requisitos deberá implementarse dentro del año siguiente a la entrada en vigencia del presente Decreto.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Artículo 51. Características de las bases de operación. Las personas prestadoras del servicio público de aseo que presten el servicio en municipio o distritos mayores de 5.000 usuarios deberán tener base de operación, las cuales deberán ubicarse de acuerdo con lo definido en las normas de ordenamiento territorial y cumplir con las siguientes características:

1. Contar con áreas adecuadas para el parqueo y maniobra de los vehículos, depósito de insumos para la prestación de servicio, zona de control de operaciones, vestidores e instalaciones sanitarias para el personal, y oficinas administrativas.
2. Contar con los servicios públicos.
3. Contar con una adecuada señalización en las diferentes áreas, así como de los sentidos de circulación.
4. Contar con señales y equipo de seguridad para la prevención de accidentes, que permitan la inmediata y oportuna atención cuando se produzcan situaciones de emergencia.
5. Contar con equipos de control de incendios.
6. Contar con equipos de comunicación entre la base y los equipos de recolección.

Parágrafo 1. En las bases de operación no se podrán almacenar residuos sólidos provenientes de las actividades de recolección y transporte.

Parágrafo 2. Las personas prestadoras de la actividad de aprovechamiento que requieran menos de tres (3) vehículos para la prestación del servicio no están obligadas a contar con base de operaciones.

CAPÍTULO IV

BARRIDO Y LIMPIEZA DE ÁREAS PÚBLICAS

Artículo 52. Responsabilidad en barrido y limpieza de vías y áreas públicas. Las labores de barrido y limpieza de vías y áreas públicas son responsabilidad de la persona prestadora del servicio público de aseo en el área de prestación donde realice las actividades de recolección y transporte.

La prestación de este componente en todo caso deberá realizarse de acuerdo con la frecuencia y horarios establecidos en el programa para la prestación del servicio público de aseo, y cumpliendo con las exigencias establecidas en el PGIRS del respectivo municipio o distrito. La determinación de los kilómetros a barrer deberá tener en cuenta las frecuencias de barrido.

En calles no pavimentadas y en áreas donde no sea posible realizar el barrido por sus características físicas, se desarrollarán labores de limpieza manual.

La persona prestadora de servicio público de aseo deberá adelantar labores de limpieza de vías y áreas públicas para superar situaciones de caso fortuito o fuerza mayor, tales como terremotos, inundaciones, siniestros y catástrofes de cualquier tipo.

En el caso de producirse accidentes o hechos imprevistos que generen suciedad en la vía pública, dentro del área de prestación, la persona prestadora del servicio público de aseo deberá concurrir para restablecer la condición de limpieza del área. Para tales efectos, la persona prestadora deberá hacer presencia en el sitio dentro

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

de las tres (3) horas siguientes al momento de haber sido avisada para prestar el servicio en el área afectada.

Parágrafo 1. En desarrollo de las actividades de barrido de vías y áreas públicas, se prohíbe arrojar residuos hacia las alcantarillas del sistema pluvial y sanitario del municipio y/o distrito. Para el efecto la persona prestadora del servicio público de aseo deberá capacitar a los operarios de barrido para evitar que el producto de esta actividad se disponga en sumideros de alcantarillado pluvial, y de esta forma prevenir su taponamiento.

Parágrafo 2. Cuando en un área confluya más de un prestador, estos serán responsables de la actividad de barrido y limpieza en proporción al número de usuarios que cada prestador atienda en dicha área.

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico determinará la metodología de cálculo de los kilómetros a barrer por cada prestador en función del número de usuarios que cada uno atienda en el área de confluencia.

Artículo 53. Acuerdos de Barrido y Limpieza. Las personas prestadoras deberán suscribir acuerdos de barrido y limpieza en los que se determinen las vías y áreas públicas que cada persona prestadora vaya a atender en el respectivo municipio, sin perjuicio de que en el mismo acuerdo se convenga que solo uno de ellos sea quien atiende la totalidad del área. En los mismos acuerdos se podrá establecer la forma de remunerarse entre los prestadores de las mencionadas actividades.

Lo anterior, so pena que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios imponga las sanciones de que trata el artículo 81 de la Ley 142 de 1994, por incumplimiento del régimen de servicios públicos domiciliarios y falla en la prestación de dichos servicios.

Estos acuerdos deberán suscribirse dentro de los tres (3) meses siguientes a la vigencia del presente decreto.

En el evento que habiéndose firmado el acuerdo de que trata el presente artículo, ingrese o se retire una determinada persona prestadora dentro del área de confluencia, se deberá revisar y ajustar el acuerdo de barrido celebrado, para lo cual los prestadores tendrán un plazo máximo de tres (3) meses contados a partir del ingreso o retiro del prestador, so pena de la imposición de las sanciones, por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, en ejercicio de la competencia establecida en el artículo 81 de la Ley 142 de 1994.

Parágrafo. En el evento que no se logre un acuerdo entre las personas prestadoras en los términos previstos en el presente artículo, cualquiera de ellas podrá solicitar a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico la resolución de dicha controversia, en los términos del artículo 73, numeral 73.9, de la Ley 142 de 1994.

Artículo 54. Frecuencias mínimas de barrido y limpieza de vías y áreas públicas. La frecuencia mínima de barrido y limpieza del área de prestación a cargo del prestador será de dos (2) veces por semana para municipios y/o distritos de primera categoría o especiales, y de una (1) vez por semana para las demás categorías establecidas en la ley. El establecimiento de mayores frecuencias definidas en el PGIRS para la totalidad del área urbana del municipio y/o distrito o partes específicas de la misma, deberá ser solicitado por el ente territorial al prestador y su costo será reconocido vía tarifa.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Parágrafo. El prestador de la actividad de recolección y transporte de residuos sólidos deberá garantizar la frecuencia mínima de barrido y limpieza, o la que determine el PGIRS en toda el área de prestación a su cargo.

Artículo 55. Establecimiento del horario de barrido y limpieza de vías y áreas públicas. El barrido y limpieza de vías y áreas públicas deberá realizarse en horarios que causen la menor afectación al flujo de vehículos y de peatones.

Artículo 56. Establecimiento de macrorrutas y microrrutas para el barrido y limpieza de vías y áreas públicas. Las personas prestadoras del servicio público de aseo están obligadas a establecer las macrorrutas y microrrutas que deben seguir cada una de las cuadrillas de barrido y limpieza de vías y áreas públicas teniendo en cuenta las normas de tránsito, las características físicas del municipio o distrito, así como con las frecuencias establecidas. Esas rutas deberán ser informadas a los usuarios y cumplidas cabalmente por las personas prestadoras del servicio.

Artículo 57. Actividad de barrido y limpieza manual de vías y áreas públicas. Los residuos resultantes de la labor de barrido y limpieza manual de vías y áreas públicas deberán ser colocados en bolsas plásticas, que una vez llenas serán cerradas y ubicadas en el sitio preestablecido para su posterior recolección. Esta actividad incluye la recolección de bolsas de las cestas colocadas en las vías y áreas públicas.

Artículo 58. Instalación de cestas o canastillas públicas de residuos sólidos en las vías y áreas públicas. Las personas prestadoras del servicio de aseo deberán colocar canastillas o cestas, en vías y áreas públicas, para almacenamiento exclusivo de residuos sólidos producidos por los transeúntes. Para la ubicación de las cestas a cargo del prestador, se requerirá aprobación previa del municipio o distrito.

La recolección de los residuos sólidos depositados en las cestas es responsabilidad de las personas prestadoras del servicio público de aseo. La persona prestadora del servicio público de aseo deberá llevar un inventario de las cestas que suministre, así como de su estado, para efectos de su mantenimiento y reposición.

Parágrafo. Los costos de inversión y mantenimiento de las cestas de almacenamiento se deberán tener en cuenta en la regulación tarifaria, para lo cual la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento establecerá en la fórmula tarifaria el costo eficiente para esta actividad de acuerdo con el número de suscriptores.

Artículo 59. Características de las canastillas o cestas públicas. Las canastillas o cestas públicas deben cumplir con las siguientes características:

1. Estar diseñadas de tal forma que se facilite el depósito de los residuos, aspecto que debe tenerse en cuenta en los casos en que se coloquen tapas.
2. Deben tener algún dispositivo para evitar que se llenen de agua cuando llueva.
3. Deben estar ancladas para evitar que sean hurtadas.
4. Los soportes tienen que ser resistentes, teniendo en cuenta el uso a que son sometidos las cestas y que se trata de mobiliario público.
5. Para su ubicación debe tenerse en cuenta la afluencia de público, la generación de residuos y las condiciones del espacio público, evitando que

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

se obstruya el paso de peatones y la visibilidad a los conductores de vehículos automotores.

6. El material y diseño de los recipientes deben facilitar su utilización a los usuarios, así como la recolección de los residuos depositados, su limpieza y mantenimiento.

Artículo 60. Equipo para la actividad de barrido manual. El personal operativo para la actividad de barrido manual deberá contar con el equipo necesario para la limpieza, barrido, almacenamiento, recolección y el transporte manual de los residuos sólidos, incluidos los elementos de seguridad industrial y salud ocupacional necesarios.

Artículo 61. Actividad de barrido mecánico. Se podrá utilizar barrido mecánico en aquellas calles pavimentadas que por su longitud, estado de las vías, amplitud, volumen de los residuos, tráfico y riesgo de la operación manual ameriten el uso de este tipo de maquinaria. La descarga de los residuos de barrido mecánico se efectuará en los sitios previamente establecidos en el correspondiente programa de la prestación del servicio público de aseo. El drenaje del agua para aspersión de los mismos obligatoriamente deberá efectuarse antes del pesaje de los vehículos y podrá efectuarse en sumideros, pero en todo caso deberá evitarse el taponamiento de las rejillas.

La persona prestadora del servicio público de aseo deberá retirar de la senda del barrido mecánico todos aquellos residuos que por sus características físicas dificulten su aspiración por el vehículo, debiendo recolectarlos al momento de la realización de esta actividad.

Parágrafo. Las personas prestadoras del servicio de aseo en las actividades de barrido y limpieza no deberán arrojar residuos de barrido, ni arenilla en los sumideros de aguas lluvias.

Artículo 62. Responsabilidad de los anunciantes en materia de limpieza. La limpieza y remoción de los avisos publicitarios o propaganda será responsabilidad de los anunciantes, quien podrá contratar con la persona prestadora del servicio público de aseo la remoción y el manejo de los residuos sólidos generados por la remoción de los avisos publicitarios o propaganda, cuyo costo será pactado entre el anunciante y la persona prestadora del servicio público de aseo como manejo de un residuo especial. Las autoridades de policía deberán velar por el cumplimiento de esta obligación.

Artículo 63. Limpieza de playas. La persona prestadora del servicio público de aseo deberá efectuar la limpieza de playas costeras o ribereñas en las áreas urbanas definidas en el PGIRS e instalar cestas de almacenamiento en las zonas aledañas.

Parágrafo. La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico definirá la metodología para establecer el costo eficiente a reconocer vía tarifa.

CAPÍTULO V

LAVADO DE ÁREAS PÚBLICAS

Artículo 64. Responsabilidad en el lavado de áreas públicas. Las labores de lavado de áreas públicas son responsabilidad de los prestadores del servicio

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

público de aseo en el área de prestación donde realicen las actividades de recolección y transporte.

La prestación de este componente en todo caso deberá realizarse de acuerdo con la frecuencia y horarios establecidos en el programa para la prestación del servicio público de aseo, y cumpliendo con las exigencias establecidas en el PGIRS del respectivo municipio o distrito.

Los municipios o distritos están en la obligación de suministrar a las personas prestadoras el inventario de los puentes peatonales y áreas públicas objeto de lavado, detallando como mínimo, su ubicación y área de lavado, entre otros aspectos.

Parágrafo. Cuando en un área confluya más de un prestador, estos serán responsables de la actividad de lavado de áreas públicas en proporción al número de usuarios que cada prestador atienda en dicha área.

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico determinará la metodología de cálculo de las áreas públicas de lavado que le corresponde a cada prestador en función del número de usuarios que cada uno atienda en el área de confluencia.

Artículo 65. Acuerdos de lavado de áreas públicas. Las personas prestadoras deberán suscribir acuerdos donde se determinen las áreas públicas, incluidos los puentes peatonales a cargo de cada prestador y las frecuencias de ejecución de la actividad que cada persona prestadora vaya a realizar, sin perjuicio de que en el mismo acuerdo se convenga que solo uno de ellos sea quien atienda la totalidad del área. En los mismos acuerdos se podrá establecer la forma de remunerarse entre los prestadores de las mencionadas actividades.

Lo anterior so pena que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios imponga las sanciones de que trata el artículo 81 de la Ley 142 de 1994, por incumplimiento del régimen de servicios públicos domiciliarios y falla en la prestación de dichos servicios.

Estos acuerdos deberán suscribirse dentro de los tres (3) meses siguientes a la fecha de aplicación de la metodología tarifaria que expida la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, en la que se determinen los costos de esta actividad, so pena que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios imponga las sanciones de que trata el artículo 81 de la Ley 142 de 1994, por incumplimiento del régimen de servicios públicos domiciliarios y falla en la prestación de dichos servicios.

En el evento que habiéndose firmado el acuerdo de que trata el presente artículo, ingrese o se retire una determinada persona prestadora dentro del área de confluencia, se deberá revisar y ajustar el acuerdo de lavado de áreas públicas celebrado, para lo cual los prestadores tendrán un plazo máximo de tres (3) meses contados a partir del ingreso o retiro del prestador, so pena de la imposición de las sanciones, por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, en ejercicio de la competencia establecida en el artículo 81 de la Ley 142 de 1994.

Parágrafo. En el evento que no se logre un acuerdo entre las personas prestadoras en los términos previstos en el presente artículo, cualquiera de ellas podrá solicitar a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico la resolución de dicha controversia, en los términos del artículo 73, numeral 73.9, de la Ley 142 de 1994.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Artículo 66. Alcance del lavado de áreas públicas. La actividad de lavado de áreas públicas dentro del servicio de aseo comprende el lavado de puentes peatonales y de aquellas áreas públicas cuya condición de limpieza se deteriora por un uso inadecuado de tales áreas constituyéndose en puntos críticos sanitarios.

Parágrafo 1. Solo se podrá trasladar a la tarifa del suscriptor del servicio de aseo el lavado de puentes peatonales en el área urbana con una frecuencia máxima de dos (2) veces al año. Mayores frecuencias deberán ser cubiertas por el ente territorial.

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico definirá el costo máximo a reconocer vía tarifa por esta actividad.

Parágrafo 2. El lavado de áreas públicas se realizará con cargo a la tarifa del suscriptor del servicio público de aseo para restablecer la condición de limpieza deteriorada por el uso inadecuado de tales áreas, al constituirse en punto crítico sanitario. El ente territorial deberá adoptar las medidas para su eliminación dentro de los quince (15) días siguientes a que este sea reportado por el prestador o por un usuario. En caso de no adoptar las medidas correctivas, el lavado de las mismas estará a cargo del ente territorial quien deberá pactar el valor de esta actividad, su frecuencia y área de intervención con el prestador.

Parágrafo 3. Esta actividad no aplica al lavado de parques, monumentos, esculturas, pilas y demás mobiliario urbano y bienes de interés cultural cuya limpieza y mantenimiento no estará a cargo de la tarifa que pagan los suscriptores del servicio de aseo a las personas prestadoras.

CAPÍTULO VI

CORTE DE CESPED Y PODA DE ÁRBOLES

Artículo 67. Actividad de corte de césped. Esta actividad debe realizarse en las áreas verdes públicas de los municipios, tales como: separadores viales ubicados en vías de tránsito automotor o peatonal, glorietas, rotondas, orejas o asimilables, parques públicos sin restricción de acceso definidos en las normas de ordenamiento territorial, que se encuentren dentro del perímetro urbano. Se excluye de esta actividad el corte de césped de los antejardines frente a los inmuebles el cual será responsabilidad de los propietarios de éstos.

Parágrafo. Se excluyen las actividades de ornato y embellecimiento.

Artículo 68. Frecuencias y horarios para la actividad de corte de césped. El desarrollo de las tareas de corte de césped se hará de forma programada, teniendo en cuenta que el área debe intervenir cuando la altura del césped supere los diez (10) centímetros. En todo caso la altura mínima del césped una vez cortado no debe ser inferior a dos (2) centímetros.

Esta actividad deberá realizarse en horario diurno para zonas residenciales. Se exceptúan de esta obligación aquellas zonas que no puedan atenderse en horario diurno, por las dificultades generadas por el tránsito peatonal o vehicular y cualquier otra zona que por sus características particulares no permita la realización de la actividad en el horario mencionado.

Artículo 69. Normas de seguridad para la actividad de corte de césped. La persona prestadora del servicio público de aseo deberá adoptar todas las medidas

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

tendientes a evitar accidentes y molestias durante la ejecución del corte del césped. En este sentido adelantará las siguientes actividades:

Información: Se colocará una valla informativa en el sitio del área a intervenir indicando el objeto de la labor, así como el nombre de la persona prestadora del servicio público de aseo, el número del teléfono de peticiones, quejas y recursos (línea de atención al cliente) y la página web en caso de contar con ella.

Demarcación: Se hará mediante cinta para encerrar el área de trabajo con el fin de aislarla del tráfico vehicular y tránsito peatonal. Igualmente, se colocarán mallas de protección para prevenir accidentes ocasionados por guijarros u otros residuos impulsados en el momento de efectuar el corte de césped y deberá tener una longitud concordante con el área intervenida, con una altura mínima de 1,50 m y soportada por una estructura que permita moverla fácilmente. La colocación de la malla de protección no sustituirá la utilización de vallas de información.

Artículo 70. Normas de seguridad para el operario en la actividad de corte de césped. En la ejecución de esta actividad la persona prestadora deberá brindar las medidas de seguridad para preservar la integridad física del operario durante la realización de la labor de corte de césped de acuerdo con las normas de seguridad industrial.

La persona prestadora del servicio público de aseo deberá capacitar a los operarios sobre las especificaciones y condiciones técnicas de la actividad y las normas de seguridad industrial que deben aplicarse.

Artículo 71. Actividad de poda de árboles. Las actividades que la componen son: corte de ramas, follajes, recolección, presentación y transporte para disposición final o aprovechamiento siguiendo los lineamientos que determine la autoridad competente. Esta actividad se realizará sobre los árboles ubicados en separadores viales ubicados en vías de tránsito automotor, vías peatonales, glorietas, rotondas, orejas o asimilables, parques públicos sin restricción de acceso, definidos en las normas de ordenamiento territorial, que se encuentren dentro del perímetro urbano. Se excluyen de esta actividad los árboles ubicados en antejardines frente a los inmuebles los cuales serán responsabilidad de los propietarios de éstos.

Parágrafo 1. Se exceptuarán la poda de árboles ubicados en las zonas de seguridad definidas por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

Parágrafo 2. Se excluyen de esta actividad la poda de los árboles ubicados en las rondas y zonas de manejo y preservación ambiental de quebradas, ríos canales y en general de árboles plantados en sitios donde se adelanten obras en espacio público.

También se excluye del alcance de esta actividad la tala de árboles, así como las labores de ornato y embellecimiento.

Artículo 72. Normas de seguridad para la actividad de poda de árboles. La persona prestadora del servicio público de aseo deberá adoptar todas las medidas tendientes a evitar accidentes y molestias durante la ejecución de la poda de árboles. En este sentido adelantará las siguientes actividades:

Información: Se colocará una valla informativa en el sitio del área a intervenir indicando el objeto de la labor, así como el nombre de la persona prestadora del servicio público de aseo, el número del teléfono de peticiones, quejas y recursos (línea de atención al cliente) y la página web en caso de contar con ella.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Demarcación: Se hará mediante cinta para encerrar el área de trabajo con el fin de aislarla del tráfico vehicular y tránsito peatonal. Igualmente, se colocaran mallas de protección para prevenir accidentes. La colocación de la malla de protección no sustituirá la utilización de vallas de información.

Artículo 73. Normas de seguridad para el operario en la actividad de poda de árboles. En la ejecución de esta actividad la persona prestadora deberá brindar las medidas de seguridad para preservar la integridad física del operario durante la realización de la labor de poda de árboles de acuerdo con las normas de seguridad industrial.

La persona prestadora del servicio público de aseo deberá capacitar a los operarios sobre las especificaciones y condiciones técnicas de la actividad y las normas de seguridad industrial que deben aplicarse.

Artículo 74. Autorizaciones para las actividades de poda de árboles. Para la actividad de poda de árboles se deberán obtener las autorizaciones que establezca la respectiva autoridad competente.

CAPÍTULO VII

TRANSFERENCIA

Artículo 75. Utilización de estaciones de transferencia. Las personas prestadoras del servicio de aseo en las actividades de recolección y transporte deberán evaluar la conveniencia de utilizar estaciones de transferencia, como infraestructura para la prestación del servicio en los eventos en que la misma se constituya en una solución de costo mínimo, con el objetivo de incrementar eficiencia al optimizar costos de recolección racionalizando los recursos económicos, energéticos, con el fin de coadyuvar al logro de una mayor productividad de la mano de obra y del equipo utilizado, sin perjuicio de obtener previamente las autorizaciones ambientales a que haya lugar.

Artículo 76. Obligación de las entidades territoriales. Los municipios o distritos deberán definir las áreas donde es posible la localización y el funcionamiento de estaciones de transferencia de residuos sólidos de conformidad con los usos del suelo previstos en las normas de ordenamiento territorial.

Artículo 77. Instalación de estaciones de transferencia. Cuando se considere necesario ubicar una estación de transferencia la persona prestadora del servicio deberá realizar los estudios que incluyan la evaluación económica, técnica operativa, jurídica, comercial, financiera, institucional, socio cultural y de riesgos cumpliendo con la reglamentación técnica vigente para el sector y sin perjuicio de la obtención de las autorizaciones ambientales a que haya lugar.

Artículo 78. Características de los vehículos de transferencia para transporte de residuos sólidos. Los vehículos empleados en la actividad de transporte a granel de los residuos sólidos deberán tener, entre otras las siguientes características:

1. Ser motorizados, y estar claramente identificados (color, logotipos, placa de identificación, iconos informativos, entre otras características).
2. Estar provistos de equipo de comunicaciones, el cual se utilizará para la logística y coordinación con las otras actividades del servicio.
3. Podrán o no tener incorporados elementos de compactación de los residuos,

“Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo”.

- lo cual dependerá de las condiciones operativas, la capacidad de la unidad de almacenamiento, las restricciones viales, las condiciones del cargue y descargue de los residuos y la naturaleza física y química de los mismos.
4. Cumplir con las normas vigentes para emisiones atmosféricas y ajustarse a los requerimientos de tránsito.
 5. En caso de contar con equipos de compactación, estos deberán tener un sistema de parada de emergencia que detenga totalmente y de forma inmediata la operación del mismo.
 6. Las unidades de almacenamiento de los vehículos destinados al transporte de los residuos sólidos, deberán ser estancos y permitir su cierre o cubierta, de manera que impidan la fuga y descarga en la vía pública de los líquidos (lixiviados) durante el transporte, evitar el arrastre y la dispersión de residuos, de material particulado y de olores, y deben contar con un dispositivo automático que permita una rápida acción de descarga en el sistema de disposición final.
 7. Posibilitar el cargue y el descargue de los residuos sólidos almacenados de forma tal que se evite la dispersión de estos y la emisión de partículas.
 8. Estar cubiertos durante el transporte, de manera que se reduzca el contacto con la lluvia y el viento y, se evite el esparcimiento y el impacto negativo visual y estético.
 9. Las especificaciones de los vehículos deberán corresponder a la capacidad y dimensión de las vías públicas.
 10. Cumplir con las especificaciones técnicas existentes para no afectar la salud ocupacional de los conductores y operarios.
 11. Estar dotados con los equipos de carretera y de atención de incendios.
 12. Estar dotados de dispositivos de control de ruido.

Las personas prestadoras del servicio público de aseo deben determinar el número mínimo de vehículos con la capacidad de carga y compactación necesarias para el transporte a granel de los residuos transferidos. La transferencia debe garantizar que los residuos se puedan transportar en la jornada laboral sin permitir que se acumulen y se generen focos de contaminación y perturbación del bienestar ciudadano.

CAPÍTULO VIII

RECOLECCION Y TRANSPORTE SELECTIVO DE RESIDUOS PARA APROVECHAMIENTO

Artículo 79. Recolección y transporte de residuos para aprovechamiento como actividad complementaria del servicio público de aseo. Son el conjunto de actividades complementarias de aseo realizada por la persona prestadora del servicio público, dirigidas a efectuar la recolección de los residuos sólidos de manera separada para su transporte hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento o a las plantas de aprovechamiento.

Parágrafo. La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico establecerá la forma de remuneración de la actividad de recolección, transporte selectivo y clasificación de residuos aprovechables.

Artículo 80. Características de los vehículos de recolección selectiva. Los vehículos empleados en la recolección y transporte de residuos aprovechables deberán tener entre otras, las siguientes características:

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

1. Pueden contar con equipos para compactar algunas fracciones de los materiales recolectados dependiendo de su naturaleza. En caso de contar con tales equipos, estos deberán tener un sistema de emergencia que detenga de forma inmediata la operación de compactación.
2. Los vehículos de transporte deberán ser motorizados, y estar claramente identificados (color, logotipos, placa de identificación, iconos informativos que indiquen que se transportan materiales para aprovechamiento, entre otras características).
3. Los vehículos y/o el personal operativo deberán estar provistos de equipo de comunicaciones, el cual se utilizará para la logística y coordinación con las otras actividades del servicio.
4. Los vehículos deberán cumplir con las normas vigentes para emisiones atmosféricas y ajustarse a los requerimientos de tránsito.
5. Las unidades de almacenamiento de los vehículos destinados al transporte de fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables deberán tener depósitos estancos y permitir su cierre o cubierta, de manera que impidan la fuga y descarga en la vía pública de los líquidos resultantes, el arrastre y la dispersión de residuos de material particulado y de olores. Deben contar con un mecanismo que permita una rápida acción de descarga para los lixiviados en los sitios dispuestos para tal fin, cuando se trate del transporte de residuos orgánicos.
6. Los equipos deberán posibilitar el cargue y el descargue de los residuos sólidos almacenados de forma tal que se evite la dispersión de estos y la emisión de partículas.
7. Los vehículos deberán estar cubiertos durante el transporte, de manera que se reduzca el contacto con la lluvia y el viento y se evite el esparcimiento y el impacto negativo visual y estético.
8. Las especificaciones de los vehículos deberán corresponder a la capacidad y dimensión de las vías públicas.
9. Deberán cumplir con las especificaciones técnicas existentes para no afectar la salud ocupacional de los conductores y operarios.
10. Deberán estar dotados con los equipos de carretera y de atención de incendios.
11. Deberán estar dotados de balizas o luces de tipo estroboscópico, ubicadas una sobre la cabina, así como de luces en la parte trasera del vehículo. Estarán dotados de elementos complementarios tales como cepillos, escobas y palas para efectuar la limpieza de la vía pública en los casos de dispersión de residuos durante la operación de recolección, de forma que una vez realizada la recolección, no queden residuos diseminados en la vía pública.
12. Los equipos destinados a la recolección deberán tener estribos con superficies antideslizantes, y manijas adecuadas para sujetarse de tal forma que el personal pueda transportarse momentáneamente en forma segura.

Parágrafo. El transporte de residuos aprovechables en vehículos motorizados podrá combinarse con vehículos de tracción humana para el desarrollo de las micro-rrutas de recolección.

Artículo 81. Recolección y transporte de residuos sólidos aprovechables. La recolección y transporte de residuos aprovechables deberán tener en cuenta entre otras, las siguientes consideraciones:

1. La persona prestadora del servicio público de aseo establecerá, de acuerdo con el PGIRS, frecuencias, horarios y formas de presentación para la recolección de los residuos aprovechables.

“Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo”.

2. La recolección puede efectuarse a partir de la acera, o de unidades y cajas de almacenamiento o cualquier sistema alternativo que garantice su recolección y mantenimiento de sus características como residuo aprovechable.

Artículo 82. Propósitos del aprovechamiento. El aprovechamiento de los materiales contenidos en los residuos sólidos, tiene como propósitos fundamentales:

1. Racionalizar el uso y consumo de las materias primas provenientes de los recursos naturales.
2. Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en los diferentes procesos productivos.
3. Disminuir el consumo de energía en los procesos productivos que utilizan materiales reciclados.
4. Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios al reducir la cantidad de residuos a disponer finalmente en forma adecuada.
5. Reducir el caudal y la carga contaminante de lixiviados en el relleno sanitario, especialmente cuando se aprovechan residuos orgánicos.
6. Disminuir los impactos ambientales, tanto por demanda y uso de materias primas como por los procesos de disposición final.
7. Garantizar la participación de los recicladores de oficio, en las actividades de recuperación y aprovechamiento, con el fin de consolidar productivamente estas actividades y mejorar sus condiciones de vida.

Artículo 83. Características de los residuos sólidos para el aprovechamiento. En las actividades de aprovechamiento, los residuos deben cumplir por lo menos con los siguientes criterios básicos y requerimientos, para que los métodos de aprovechamiento se realicen en forma óptima:

1. Los residuos sólidos deben estar limpios y debidamente separados por tipo de material, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el PGIRS.
2. No deben estar contaminados con residuos peligrosos, metales pesados, ni bifenilos policlorados.

Parágrafo. En el caso de las fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables el almacenamiento temporal no puede superar las cuarenta y ocho (48) horas.

Artículo 84. Almacenamiento de materiales aprovechables. El almacenamiento de los materiales aprovechables deberá realizarse de tal manera, que no se deteriore su calidad ni se pierda su valor. Los residuos sólidos aprovechables separados en la fuente, deben almacenarse de manera que no afecten el entorno físico, la salud humana y la seguridad; por lo tanto, deben controlarse los vectores, olores, explosiones y fuentes de llama o chispas que puedan generar incendios. Los lugares de almacenamiento deben salvaguardar las características físicas y químicas de los residuos sólidos allí depositados. Se deben almacenar bajo condiciones seguras dependiendo de sus características. Los materiales reciclables inorgánicos pueden almacenarse en altura.

Artículo 85. Compactación o densificación de materiales aprovechables. En las instalaciones de almacenamiento se podrá incrementar la densidad de los residuos sólidos, ya sea para reducir las necesidades de almacenamiento o para la reducción del volumen para el transporte, con los equipos tecnológicos disponibles en el mercado.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Artículo 86. Sistemas de aprovechamiento y valorización regionales. Los municipios o distritos como responsables de asegurar la prestación del servicio público de aseo, y las personas prestadoras del servicio y/o los recicladores de oficio debidamente formalizados pueden optar por establecer sistemas de aprovechamiento de residuos de carácter regional incorporando la gestión de residuos aprovechables provenientes de varios municipios.

CAPITULO IX

ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN Y APROVECHAMIENTO

Artículo 87. Requisitos mínimos para las estaciones de clasificación y aprovechamiento. Las estaciones de clasificación y aprovechamiento deberán cumplir como mínimo con los siguientes requisitos:

1. Tener en cuenta para su ubicación los usos del suelo establecidos en las normas de ordenamiento territorial.
2. La localización y el número de estaciones de clasificación y aprovechamiento deberá estar sustentada técnicamente en el marco del PGIRS.
3. La zona operativa y de almacenamiento de materiales debe ser cubierta y con cerramiento físico con el fin de prevenir o mitigar los impactos sobre el área de influencia.
4. Contar con el respectivo diagrama de flujo del proceso incluida la: recepción, pesaje y registro.
5. Contar con las siguientes áreas de operación:
 - Recepción.
 - Pesaje.
 - Selección y clasificación.
 - Procesos para materiales aprovechables.
 - Procesos para materiales de rápida biodegradación.
6. Contar con instrumentos de pesaje debidamente calibrados de acuerdo con la normatividad vigente.
7. Contar con un sistema de ventilación y extracción adecuado, que controle la emisión de olores mediante trampas y sistemas de adsorción.
8. Contar con sistema de prevención y control de incendios.
9. Contar con sistema de drenaje para el control de las aguas lluvias y escorrentía subsuperficial y sistema de recolección tratamiento de lixiviados cuando sea del caso.
10. Contar con las autorizaciones a que haya lugar.
11. Las instalaciones deben tener impermeabilización de los pisos y paredes y deben estar construidas en materiales que permitan su aseo, desinfección periódica y mantenimiento mediante lavado.
12. Cumplir con las normas de seguridad industrial.
13. Estar vinculado al servicio público de aseo como usuario, para efectos de la presentación y entrega de los residuos de rechazo con destino a disposición final. Los residuos entregados al prestador del servicio deberán ser pesados entregando al prestador el registro de las cantidades presentadas.

TÍTULO III

GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Artículo 88. Plan para la gestión integral de residuos sólidos, PGIRS. Los municipios y distritos, deberán elaborar, implementar y mantener actualizado un

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

plan municipal o distrital para la gestión integral de residuos o desechos sólidos en el ámbito local y/o regional según el caso, en el marco de la gestión integral de los residuos, el presente decreto y la metodología para la elaboración de los PGIRS.

El PGIRS deberá incorporar y fortalecer de manera permanente y progresiva las acciones afirmativas a favor de la población recicladora.

Así mismo, el PGIRS tendrá en cuenta entre otros, los siguientes lineamientos estratégicos:

1. Reducción en el origen: Implica acciones orientadas a promover cambios en el consumo de bienes y servicios para reducir la cantidad de residuos generados por parte de los usuarios. Incluye el desarrollo de acciones que fomenten el ecodiseño de productos y empaques que faciliten su reutilización o aprovechamiento, la optimización de los procesos productivos, el desarrollo de programas y proyectos de sensibilización, educación y capacitación.
2. Aprovechamiento: Implica el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de residuos para su incorporación en el ciclo productivo con viabilidad social, económica y financiera que garanticen su sostenibilidad en el tiempo y evaluables a través del establecimiento de metas por parte del municipio o distrito.
3. Disposición final de los residuos generados que no puedan ser aprovechados.

La implementación de los programas y proyectos establecidos en el PGIRS deberá incorporarse en los planes de desarrollo del nivel municipal y/o distrital y con la asignación de los recursos correspondientes.

La formulación e implementación del Plan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, estará en consonancia con lo dispuesto en los planes de ordenamiento territorial y lo establecido en este decreto. La revisión y actualización es obligatoria y deberá realizarse dentro de los doce (12) meses siguientes al inicio del período constitucional del alcalde distrital o municipal.

Parágrafo 1. En los estudios de factibilidad para la elaboración del Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, las autoridades distritales y municipales deberán garantizar la participación de los recicladores de oficio en la formulación, implementación y actualización.

Parágrafo 2. El ente territorial no podrá delegar en la persona prestadora del servicio público de aseo la elaboración, implementación y actualización de los PGIRS.

Parágrafo 3. Los Ministerios de Vivienda, Ciudad y Territorio y Ambiente y Desarrollo Sostenible deberán adoptar la metodología para la elaboración de los PGIRS. Mientras se expide la nueva metodología, se seguirá aplicando la Resolución 1045 de 2003, en lo que no sea contrario a lo dispuesto en el presente decreto.

Artículo 89. Del interés social y utilidad pública. Las áreas potenciales que la entidad territorial seleccione y determine de acuerdo con las normas de ordenamiento territorial para la ubicación de infraestructuras para la provisión del servicio público de aseo en la actividad complementaria de aprovechamiento, hacen parte de los bienes y servicios de interés común, los cuales prevalecerán sobre el interés particular. La formulación del PGIRS deberá contar con los estudios técnicos que soporten las decisiones adoptadas.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Artículo 90. Aprovechamiento en el marco de los PGIRS. Los municipios y distritos al actualizar el respectivo plan de gestión integral de residuos sólidos - PGIRS están en la obligación de diseñar, implementar y mantener actualizados, programas y proyectos sostenibles de aprovechamiento de residuos sólidos. En desarrollo de esta actividad deberán dar prioridad a los estudios de factibilidad sobre aprovechamiento de residuos.

Artículo 91. Programa de aprovechamiento. En el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, el municipio o distrito deberá diseñar implementar y mantener actualizado un programa de aprovechamiento de residuos sólidos como parte del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos –PGIRS.

Parágrafo. A las autoridades ambientales competentes, les corresponde realizar el control y seguimiento de la ejecución del PGIRS, exclusivamente en lo relacionado con las metas de aprovechamiento y las autorizaciones ambientales que requiera el prestador del servicio de aseo, de conformidad con la normatividad ambiental vigente.

Artículo 92. Viabilidad de los proyectos de aprovechamiento. El ente territorial en el marco de los PGIRS deberá determinar la viabilidad de los proyectos de aprovechamiento de residuos, teniendo en cuenta aspectos sociales, económicos, técnicos, operativos, financieros y comerciales así como los beneficios, entre otros ambientales. Para ello deberá considerar, por lo menos, los siguientes factores:

1. Realización de un análisis de mercado en el cual se evalué como mínimo la oferta, la demanda, los precios históricos de compra y venta de materiales; identificación de los actores de la cadena de comercialización y transformación de material reciclable, que permita estimar la cantidad de residuos a ser incorporados en el ciclo productivo en un periodo determinado de tiempo.
2. Realización de la cuantificación y caracterización de los residuos para determinar el potencial de aprovechamiento, de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado.
3. Realización del predimensionamiento de la infraestructura y equipos necesarios, en lo posible considerando por lo menos dos (2) alternativas tecnológicas y administrativas, apropiadas a las condiciones socioeconómicas del municipio. Para el efecto se considerará la cantidad y tipo de residuos que se gestionarán en el proyecto de aprovechamiento, teniendo en cuenta el tipo de producto que el proyecto ofrecerá en el mercado.
4. Comparación de alternativas a través de indicadores como beneficio/costo, empleos generados, costos de operación y mantenimiento, ingresos, entre otros.
5. Evaluación de la viabilidad financiera y comercial de la alternativa seleccionada, para lo cual deberá considerar los costos de inversión, operación, administración y mantenimiento. Así mismo, deberá incluir los ingresos por concepto de comercialización de materiales y de tarifas. El análisis deberá ser desarrollado para un periodo mínimo de diez años, incorporando indicadores financieros como B/C, VPN y TIR. La viabilidad del proyecto se considera positiva en condiciones de indiferencia de estos indicadores.
6. En el marco de los PGIRS, el municipio deberá considerar la articulación del proyecto de aprovechamiento de residuos con los demás componentes del servicio público de aseo como la presentación de los residuos separados en

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

- la fuente, recolección y transporte selectivo, sensibilización y capacitación en separación en la fuente.
7. Sensibilización, educación y capacitación a los usuarios del servicio público, funcionarios de la administración municipal, empleados de las empresas prestadoras del servicio público de aseo, en temas de competencia de cada grupo objetivo, que garantice la articulación del esquema de aprovechamiento en el ente territorial.
 8. El sitio donde se instalará la infraestructura debe ser compatible con los usos del suelo definidos en las normas de ordenamiento territorial vigentes.
 9. El proyecto debe contar con los permisos, concesiones y autorizaciones a que haya lugar, según lo establecido en la normativa vigente.
 10. Estructurar las estrategias para la vinculación de los recicladores de oficio cuando sea del caso.

Artículo 93. Gestión diferencial de residuos aprovechables. Cuando sea viable el desarrollo de proyectos de aprovechamiento, el ente territorial deberá establecer, acorde con el régimen de servicios públicos, una estrategia técnica, operativa y administrativa que garantice la gestión diferencial de residuos aprovechables y no aprovechables. Para ello se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Desarrollar un programa de separación en la fuente.
2. Implementar rutas de recolección selectiva a través de las cuales podrán diferenciar los días de recolección y transporte para los residuos aprovechables, de los residuos con destino a disposición final.

Estas opciones deben ser identificadas y evaluadas en el respectivo PGIRS de cada municipio o distrito.

Parágrafo 1. Es deber de los usuarios realizar separación en la fuente cuando se haga recolección selectiva de residuos sólidos aprovechables, de acuerdo con las condiciones establecidas por los respectivos Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS y el Programa de Prestación del Servicio.

Parágrafo 2. Es deber del ente territorial, dentro de su responsabilidad como garante de la prestación del servicio público de aseo, incorporar las condiciones técnicas y operativas que permitan el desarrollo del esquema de aprovechamiento y valorización de residuos definidos en el PGIRS y el Programa de Prestación del Servicio.

Artículo 94. Fortalecimiento del aprovechamiento. Con el objeto de fomentar y fortalecer el aprovechamiento de los residuos sólidos, en condiciones adecuadas para la salud y el medio ambiente, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en coordinación con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, con apoyo de la industria y la participación de las universidades y/o centros de investigación y otras entidades estatales, podrán adelantar estudios de valoración de residuos potencialmente aprovechables, con el fin de promocionar la recuperación de nuevos materiales, disminuir las cantidades de residuos a disponer y reunir la información técnica, económica y empresarial necesaria para incorporar dichos materiales a los procesos productivos.

Artículo 95. Campañas de orientación y capacitación. Es obligación de los municipios, como responsables de la gestión integral de residuos sólidos, la implementación continua de campañas de orientación y capacitación de cómo separar y aprovechar los residuos sólidos en el marco del PGIRS.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Artículo 96. Obligaciones de los municipios y distritos. Los municipios y distritos en ejercicios de sus funciones deberán:

1. Garantizar la prestación del servicio público de aseo en el área de su territorio de manera eficiente.
2. Definir el esquema de prestación del servicio de aseo y sus diferentes actividades de acuerdo con las condiciones del mismo.
3. Formular y desarrollar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, de acuerdo con lo definido en este decreto.
4. Definir las áreas para la localización de estaciones de clasificación y aprovechamiento, plantas de aprovechamiento, sitios de disposición final de residuos y estaciones de transferencia, de acuerdo con los resultados de los estudios técnicos requisitos ambientales, así como en el marco de las normas urbanísticas del respectivo municipio o distrito.
5. Adoptar en los PGIRS las determinaciones para incentivar procesos de separación en la fuente, recolección selectiva, acopio y reciclaje de residuos, como actividades fundamentales en los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos.
6. Realizar y adoptar la estratificación municipal y tenerla a disposición de las personas prestadoras del servicio público de aseo para los efectos propios del catastro de suscriptores.
7. Establecer en el municipio o distrito una nomenclatura alfanumérica precisa, que permita individualizar cada predio.
8. Otorgar los subsidios para los usuarios de menores ingresos y suscribir los contratos respectivos.
9. Formalizar la población recicladora de oficio, para que participe de manera organizada y coordinada en la prestación del servicio público que comprende la actividad complementaria de aprovechamiento, con el fin de dar cumplimiento a lo previsto en este decreto y en la regulación vigente.
10. Adoptar y fortalecer las acciones afirmativas en favor de la población recicladora.
11. Adelantar la actualización del censo de recicladores en su territorio, así como identificarlos y carnetizarlos con el fin de identificar la población objetivo y focalizar las acciones afirmativas para esta población vulnerable.
12. Las demás que establezcan las autoridades sanitarias y ambientales de acuerdo con sus funciones y competencias.

Parágrafo. Independientemente del esquema de prestación del servicio público de aseo que adopte el municipio o distrito, este debe garantizar la prestación eficiente del servicio y sus actividades complementarias a todos los habitantes en su territorio, de acuerdo con los objetivos y metas definidos en el PGIRS.

TITULO IV

CAPÍTULO I

ATENCIÓN AL USUARIO Y GESTIÓN COMERCIAL DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO

Artículo 97. Facturación conjunta del servicio público de aseo. Quienes presten cualquiera de los servicios públicos a los que se refiere la Ley 142 de 1994, prestarán oportunamente el servicio de facturación conjunta a las personas prestadoras del servicio de aseo, reconociendo por tal actividad el costo de estas más una utilidad razonable.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

En los casos en que en el convenio de facturación conjunta se haya acordado el recaudo, el prestador responsable de esta actividad deberá transferir al prestador del servicio de aseo las sumas recaudadas en un plazo no mayor a treinta (30) días.

Artículo 98. Requisitos Especiales de la factura. La factura del servicio público de aseo además de los requisitos establecidos en la Ley 142 de 1994 deberá indicar como mínimo la frecuencia de prestación del servicio. Así mismo, el prestador está obligado a entregar oportunamente las facturas a los suscriptores, de conformidad con las normas vigentes y los duplicados cuando a ello haya lugar.

Artículo 99. Facturación para usuarios agrupados en unidades inmobiliarias. El costo del servicio público de aseo para el caso de usuarios agrupados en unidades inmobiliarias, centros habitacionales, conjuntos residenciales, condominios o similares bajo el régimen de propiedad horizontal vigente o concentrados en centros comerciales o similares, los cuales hayan escogido la opción tarifaria de multiusuario, será igual a la suma de:

1. Un cargo fijo, que será establecido de conformidad con la metodología definida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA.
2. Un cargo por la parte proporcional a los residuos sólidos generados y presentados por la agrupación o concentración de usuarios a la persona prestadora del servicio público de aseo, de acuerdo con el aforo realizado por ésta y según la metodología definida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA.

Parágrafo. El valor máximo a cobrar por concepto del servicio de aseo a inmuebles desocupados será definido por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA. Para acceder a esta tarifa será indispensable acreditar la desocupación del inmueble según los requisitos establecidos por la CRA.

Artículo 100. Prepago en Facturación conjunta. Cuando se facture el servicio público de aseo de manera conjunta con cualquier otro servicio que tenga establecido un sistema de comercialización a través de la modalidad de pre-pago, no se podrá dejar de pagar el servicio público de aseo, de acuerdo al parágrafo del artículo 147 de la Ley 142 de 1994.

Artículo 101. Información al usuario. Las personas prestadoras del servicio público de aseo deberán contar con la información completa y actualizada de sus usuarios, en especial de los datos sobre su identificación, de la modalidad del servicio que reciben, cantidad de residuos que genera, estado de cuentas y demás información que sea necesaria para el seguimiento y control del servicio. La persona prestadora suministrará al usuario la información que le permita evaluar el servicio prestado en los términos establecidos en el artículo 9.4 de la Ley 142 de 1994.

Artículo 102. Oficina de Peticiones, Quejas y Recursos. Todas las personas prestadoras del servicio público de aseo deben disponer de una oficina para recibir, atender, tramitar y resolver todo tipo de peticiones, quejas y recursos que presenten los usuarios y/o suscriptores de conformidad con lo establecido en la Ley 142 de 1994.

Estas oficinas llevarán un registro y harán un seguimiento detallado de cada una de las peticiones, quejas y recursos donde aparezca entre otros aspectos: motivo de la petición o queja, fecha en que se presentó, medio que utilizó el usuario y/o

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

suscriptor, respuesta que se le dio y tiempo que utilizó la empresa para resolverla. La anterior información debe estar disponible en todo momento para consulta de los usuarios que lo soliciten y en particular de la autoridad competente.

Artículo 103. Suspensión en interés del servicio. En caso de presentarse suspensión en interés en la prestación del servicio público de aseo por cualquier causa, la persona prestadora deberá mantener informados a los usuarios de dicha circunstancia e implementar las medidas transitorias requeridas.

En caso de suspensiones programadas del servicio público de aseo, la persona prestadora del servicio deberá avisar a sus usuarios con cinco (5) días de anticipación, a través del medio de difusión más efectivo que se disponga en la población o sector atendido.

Artículo 104. Descuentos por fallas en la prestación del servicio público de aseo. La persona prestadora del servicio público de aseo está obligada a hacer los descuentos y reparar e indemnizar los perjuicios ocasionados como consecuencia de falla en la prestación del servicio, salvo que medie caso fortuito o fuerza mayor de acuerdo con lo establecido por la Ley 142 de 1994 y demás normas reglamentarias y regulatorias, sin perjuicio de los indicadores de descuento que defina la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Artículo 105. Relaciones con la comunidad. La persona prestadora deberá desarrollar programas orientados a establecer y fortalecer relaciones con los usuarios del servicio en el marco del Programa de Prestación del Servicio. Estos programas deberán atender los siguientes objetivos:

1. Suministrar información a los usuarios acerca de los horarios, frecuencias, normas y características generales de la prestación del servicio.
2. Promover actividades de capacitación a la comunidad sobre el uso eficiente del servicio, y sobre la cultura de la no basura de acuerdo con lo establecido en el PGIRS.

CAPÍTULO II

RELACIONES ENTRE LOS USUARIOS Y LA PERSONA PRESTADORA DEL SERVICIO

Artículo 106. Régimen jurídico aplicable. Las relaciones entre la persona prestadora del servicio público de aseo y los usuarios se someterán a las normas establecidas, en la Ley 142 de 1994, el presente decreto y normatividad complementaria del servicio público de aseo.

Artículo 107. Clasificación de los suscriptores y/o usuarios del servicio de aseo. Los usuarios del servicio público de aseo se clasificarán en residenciales y no residenciales, y estos últimos en pequeños y grandes generadores de acuerdo con su producción.

Artículo 108. Condiciones de acceso al servicio. Para obtener la prestación del servicio público de aseo, basta que el usuario lo solicite, el inmueble se encuentre en las condiciones previstas por el prestador y éste cuente con la capacidad técnica para suministrarlo.

Las personas prestadoras deberán disponer de formularios para la recepción de las solicitudes que los usuarios presenten de manera verbal.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Parágrafo. Cuando haya servicio público de aseo disponible será obligatorio vincularse como usuario y cumplir con los deberes respectivos, o acreditar que se dispone de alternativas que no perjudiquen a la comunidad. La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios será la entidad competente para determinar si la alternativa propuesta no causa perjuicios a la comunidad.

Artículo 109. De los derechos. Son derechos de los usuarios:

1. El ejercicio de la libre elección del prestador del servicio público de aseo en los términos previstos en las disposiciones legales vigentes. En caso de presentarse una solicitud de terminación anticipada del contrato por parte del usuario la persona prestadora deberá resolver la petición en un plazo de quince (15) días hábiles, so pena que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios imponga, al prestador que incumpla esta obligación, las sanciones correspondientes por violación del régimen de servicios públicos domiciliarios, conforme al artículo 81 de la Ley 142 de 1994.
2. Acceso a la información de manera completa, precisa y oportuna en los términos del artículo 9.4 de la Ley 142 de 1994.
3. Hacer parte de los Comités de Desarrollo y Control Social.
4. Hacer consultas, peticiones, quejas e interponer los recursos.
5. Tener un servicio de buena calidad.
6. El cobro individual por la prestación del servicio en los términos previstos en la legislación vigente.
7. Recibir oportunamente la factura por la prestación del servicio en los términos previstos en la legislación vigente.
8. Obtener, el descuento en la factura por falla en la prestación del servicio de aseo imputable a la persona prestadora.
9. Obtener el aforo de los residuos sólidos, de conformidad con lo que establezca la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Artículo 110. De los deberes. Son deberes de los usuarios, entre otros:

1. Vincularse al servicio de aseo, siempre que haya un servicio disponible, o acreditar que se dispone de alternativas que no perjudiquen a la comunidad, de acuerdo con lo establecido por la ley.
2. Hacer buen uso del servicio, de modo que no genere riesgos o se constituya en un obstáculo para la prestación del servicio a los demás miembros de la comunidad. Todo usuario está en la obligación de facilitar la medición periódica de sus residuos sólidos, de conformidad con las normas de aforo vigentes.
3. Realizar la separación de los residuos sólidos en la fuente de manera que se permita la recolección selectiva, de acuerdo con el plan de gestión integral de residuos sólidos y los Programas de Prestación del Servicio de aseo establecidos.
4. Presentar los residuos sólidos para su recolección en las condiciones y horarios establecidos en el presente decreto y por la persona prestadora del servicio y de conformidad con el programa de aprovechamiento viable y sostenible que desarrolle la persona prestadora del servicio.
5. Mantener limpios y cerrados los lotes de terreno de su propiedad, así como las construcciones que amenacen ruina. Cuando por ausencia o deficiencia en el cierre y/o mantenimiento de estos se acumulen residuos sólidos en los mismos, el propietario del predio deberá contratar la recolección, transporte y disposición final con una persona prestadora del servicio público de aseo.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

Parágrafo. Cuando haya servicio público de aseo disponible será obligatorio vincularse como usuario y cumplir con los deberes respectivos, o acreditar que se dispone de alternativas que no perjudiquen a la comunidad. La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios será la entidad competente para determinar si la alternativa propuesta no causa perjuicios a la comunidad.

Artículo 109. De los derechos. Son derechos de los usuarios:

1. El ejercicio de la libre elección del prestador del servicio público de aseo en los términos previstos en las disposiciones legales vigentes. En caso de presentarse una solicitud de terminación anticipada del contrato por parte del usuario la persona prestadora deberá resolver la petición en un plazo de quince (15) días hábiles, so pena que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios imponga, al prestador que incumpla esta obligación, las sanciones correspondientes por violación del régimen de servicios públicos domiciliarios, conforme al artículo 81 de la Ley 142 de 1994.
2. Acceso a la información de manera completa, precisa y oportuna en los términos del artículo 9.4 de la Ley 142 de 1994.
3. Hacer parte de los Comités de Desarrollo y Control Social.
4. Hacer consultas, peticiones, quejas e interponer los recursos.
5. Tener un servicio de buena calidad.
6. El cobro individual por la prestación del servicio en los términos previstos en la legislación vigente.
7. Recibir oportunamente la factura por la prestación del servicio en los términos previstos en la legislación vigente.
8. Obtener, el descuento en la factura por falla en la prestación del servicio de aseo imputable a la persona prestadora.
9. Obtener el aforo de los residuos sólidos, de conformidad con lo que establezca la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Artículo 110. De los deberes. Son deberes de los usuarios, entre otros:

1. Vincularse al servicio de aseo, siempre que haya un servicio disponible, o acreditar que se dispone de alternativas que no perjudiquen a la comunidad, de acuerdo con lo establecido por la ley.
2. Hacer buen uso del servicio, de modo que no genere riesgos o se constituya en un obstáculo para la prestación del servicio a los demás miembros de la comunidad. Todo usuario está en la obligación de facilitar la medición periódica de sus residuos sólidos, de conformidad con las normas de aforo vigentes.
3. Realizar la separación de los residuos sólidos en la fuente de manera que se permita la recolección selectiva, de acuerdo con el plan de gestión integral de residuos sólidos y los Programas de Prestación del Servicio de aseo establecidos.
4. Presentar los residuos sólidos para su recolección en las condiciones y horarios establecidos en el presente decreto y por la persona prestadora del servicio y de conformidad con el programa de aprovechamiento viable y sostenible que desarrolle la persona prestadora del servicio.
5. Mantener limpios y cerrados los lotes de terreno de su propiedad, así como las construcciones que amenacen ruina. Cuando por ausencia o deficiencia en el cierre y/o mantenimiento de estos se acumulen residuos sólidos en los mismos, el propietario del predio deberá contratar la recolección, transporte y disposición final con una persona prestadora del servicio público de aseo.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

6. Recoger los residuos sólidos originados por el cargue, descargue o transporte de cualquier mercancía.
7. Pagar oportunamente el servicio prestado. En caso de no recibir oportunamente la factura, el suscriptor o usuario está obligado a solicitar duplicado de la misma a la empresa.
8. Cumplir los reglamentos y disposiciones de las personas prestadoras del servicio.
9. No cambiar la destinación del inmueble receptor del servicio, sin el lleno de los requisitos exigidos por el municipio o distrito.
10. Dar aviso a las personas prestadoras del servicio público de aseo de los cambios en la destinación del inmueble.
11. Dar aviso a la persona prestadora del servicio de la existencia de fallas en el servicio, cuando estas se presenten.
12. Almacenar y presentar los residuos sólidos.

Artículo 111. Terminación anticipada del contrato del servicio público de aseo. Todo usuario del servicio público de aseo tiene derecho a terminar anticipadamente el contrato de prestación del servicio público de aseo. Para lo anterior el suscriptor deberá cumplir los siguientes requisitos:

1. Presentar solicitud ante la persona prestadora, en la cual manifieste su voluntad de desvincularse, cumpliendo para ello con el término de preaviso contemplado en el contrato del servicio público de aseo, el cual no podrá ser superior a dos meses conforme al numeral 21 artículo 133 de la Ley 142 de 1994.
2. Acreditar que va a celebrar un nuevo contrato con otra persona prestadora del servicio público de aseo. En este caso, la solicitud de desvinculación deberá ir acompañada de la constancia del nuevo prestador en la que manifieste su disponibilidad para prestar el servicio público de aseo al solicitante determinando la identificación del predio que será atendido.
3. En los casos en que no se vaya a vincular a un nuevo prestador, acreditar que dispone de otras alternativas que no causan perjuicios a la comunidad, conforme a lo establecido en el parágrafo del artículo 16 de la Ley 142 de 1994.
4. Estar a paz y salvo con la persona prestadora a la cual solicita la terminación anticipada del contrato o haber celebrado un convenio de pago respecto de las obligaciones económicas a su cargo. Si a la fecha de solicitud de terminación del contrato la persona se encuentra a paz y salvo, pero se generan obligaciones con respecto a la fecha efectiva de terminación del contrato, el pago de tales obligaciones deberán pactarse en un cuerdo de pago y expedir el respectivo paz y salvo al momento de la solicitud de terminación.

Los prestadores del servicio de aseo que reciban solicitudes de terminación del contrato no podrán negarse a terminarlo por razones distintas de las señaladas en esta norma y no podrán imponer en su contrato documentos o requisitos que impidan este derecho.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

La persona prestadora no podrá solicitar requisitos adicionales a los previstos en este artículo.

La persona prestadora del servicio público de aseo deberá tramitar y resolver de fondo la solicitud de terminación anticipada del contrato, en un plazo máximo de quince (15) días hábiles, so pena de imposición de sanciones por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

La persona prestadora no podrá negar la terminación anticipada del contrato argumentando que la nueva persona prestadora no está en capacidad de prestarlo.

CAPITULO III

OBLIGACIONES DE LAS PERSONAS PRESTADORAS

Artículo 112. Obligaciones de las personas prestadoras. Son obligaciones de las personas prestadoras, además de las previstas en la Ley 142 de 1994 y en este decreto, las siguientes:

1. Tener un contrato de servicios públicos que contenga, entre otras, las condiciones uniformes en las que el prestador está dispuesto a suministrar el servicio público de aseo. Dichas condiciones uniformes deberán publicarse con al menos 15 días de antelación a la fecha de inicio de operaciones. La publicación se hará por una vez en un medio escrito de amplia circulación local, o electrónico.
Las modificaciones a las condiciones uniformes se deberán publicar en la misma forma y con un mes de antelación a la fecha en que entren a regir.
2. Contar con la infraestructura adecuada para atender las peticiones, quejas y recursos de los usuarios del servicio, en los términos de la Ley 142 de 1994, sin perjuicio de la utilización de medios electrónicos para la recepción y atención de las mismas.
3. Contar con un estudio de costos que soporte las tarifaria ofrecidas a los usuarios, debidamente aprobada por la entidad tarifaria, y publicada de conformidad con las normas vigentes.
4. Inscribirse en el Registro Único de Prestadores de Servicios – RUPS de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, al inicio de sus actividades.

Artículo 113. Página Web. Las personas prestadoras deberán disponer de página web la cual deberá contener como mínimo la siguiente información:

1. Rutas y horarios de prestación de las diferentes actividades del servicio público de aseo.
2. Tarifas.
3. Contrato de Condiciones Uniformes.
4. Un enlace para la recepción y trámite de Peticiones, Quejas y Recursos de los usuarios.
5. Direcciones de oficinas de Peticiones, Quejas y Recursos para la atención de los usuarios.
6. Números Teléfonos para la atención de usuarios.

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

TITULO V

DISPOSICIONES FINALES

Artículo 114. Obligatoriedad de la transferencia de los subsidios. Los municipios y distritos deberán establecer los mecanismos que garanticen la transferencia al fondo de solidaridad y redistribución de ingresos de los recursos para los subsidios de los usuarios de menores ingresos de estratos 1, 2 y 3 de conformidad con la Ley 142 de 1994, la Ley 715 de 2001, la Ley 1176 de 2007 y la Ley 1537 de 2012, los decretos que las reglamenten y el régimen tarifario aplicable, así como para los casos en que se suscriban contratos para la prestación de una o varias actividades del servicio, con el propósito de garantizar la sostenibilidad del mismo.

Artículo 115. Prácticas discriminatorias. Está expresamente prohibido a las personas prestadoras del servicio público de aseo, en todos sus actos y contratos, discriminar o conceder privilegios, así como toda práctica que tenga la capacidad de generar competencia desleal, de conformidad con lo establecido en el artículo 34 y demás disposiciones legales establecidas en la Ley 142 de 1994.

La persona prestadora debe garantizar bajo las condiciones técnicas establecidas en este decreto la prestación del servicio de aseo en condiciones uniformes a todos los usuarios que lo requieran.

Artículo 116. Restricciones injustificadas para el acceso a rellenos sanitarios y/o estaciones de transferencia. Las autoridades ambientales, las personas prestadoras del servicio público de aseo y de la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos o las entidades territoriales, según el caso, no podrán imponer restricciones injustificadas para el acceso a los rellenos sanitarios y/o estaciones de transferencia de residuos sólidos.

Para los efectos del presente artículo, se consideran restricciones injustificadas al acceso a los rellenos sanitarios o a las estaciones de transferencia de residuos sólidos, las siguientes:

1. Impedir el acceso de residuos sólidos al relleno sanitario o a la estación de transferencia sin justificación técnica a cualquiera de las personas prestadoras de servicios públicos a que hace referencia el artículo 15 de la Ley 142 de 1994.
2. Impedir el acceso de residuos sólidos al relleno sanitario o a la estación de transferencia, con fundamento en la región o municipio de origen de los residuos sólidos.
3. Imponer exigencias, características o parámetros técnicos para el acceso de los residuos sólidos diferentes a las previstas en la normatividad aplicable.
4. Ejercer prácticas tarifarias discriminatorias para el acceso de residuos sólidos al relleno sanitario o a la estación de transferencia, que se encuentren por fuera de lo establecido en la metodología tarifaria expedida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Es obligación de los operadores de los rellenos sanitarios suscribir los contratos de acceso a los sitios de disposición de acuerdo con lo establecido en la normatividad vigente y en el Reglamento Operativo de cada relleno sanitario.

“Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo”.

El servicio de disposición de residuos sólidos deberá prestarse de manera continua de acuerdo con lo normatividad vigente y el Reglamento Operativo de cada relleno sanitario.

Artículo 117. Separación vertical. La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico podrá establecer la separación vertical de las actividades del servicio o la regulación de proveedores de insumos básicos del servicio de aseo cuando se presente alteración de la competencia o abuso de la posición dominante.

Artículo 118. Aplicación de normas técnicas. Para la aplicación y desarrollo técnico del presente decreto se deben cumplir las normas pertinentes del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Artículo 119. Transición. La implementación de lo dispuesto en el presente decreto tendrá las siguientes transiciones:

1. Las personas prestadoras del servicio público de aseo tendrán un plazo de seis (6) meses contados a partir de la expedición de la reglamentación del Programa de Prestación del Servicio para presentarlo ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, para su control y seguimiento.
2. Las personas prestadoras del servicio público de aseo tendrán un plazo de un (1) año, contado a partir de la expedición de la reglamentación expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, para la presentación del Programa de Gestión del Riesgo ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.
3. Los municipios y distritos tendrán un plazo de dieciocho (18) meses a partir de la publicación del presente decreto para hacer la revisión y actualización del PGIRS.
4. Las personas prestadoras del servicio de aseo tendrán un plazo de cuatro (4) meses contados a partir de la expedición del presente decreto para presentar al ente territorial, a las autoridades de policía y a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios el primer reporte de puntos críticos en su área de prestación.
5. Las personas prestadoras tendrán un plazo máximo de seis (6) meses para el cumplimiento de requisitos definidos para las bases de operaciones.
6. En un plazo de cuatro (4) meses contados a partir de la expedición del presente decreto, los municipios o distritos deberán entregar a las personas prestadoras, el inventario de los puentes peatonales y áreas públicas objeto de lavado, detallando como mínimo, su ubicación y área de lavado, entre otros aspectos.
7. Las personas prestadoras tendrán un plazo de cuatro (4) meses a partir de la entrega por parte del municipio o distrito del inventario de que trata el presente decreto para informar al ente territorial y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios la programación sobre lavado de áreas públicas.
8. Dentro de los dos (2) años siguientes a la expedición de esta norma los municipios y distritos deberán levantar el catastro de árboles ubicados en vía y áreas públicas que deberán ser objeto de poda. El cobro de la actividad de

"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo".

poda de árboles vía tarifa solo podrá hacerse cuando se cuente con dicho catastro y se realice efectivamente esta actividad.

9. Dentro de los dos (2) años siguientes a la expedición de esta norma los municipios y distritos deberán levantar el catastro de áreas públicas objeto del corte de césped. El cobro de la actividad de corte de césped solo podrá hacerse cuando se cuente con dicho catastro y se realice efectivamente esta.
10. Las personas prestadoras tendrán un plazo de seis (6) meses para adecuar las páginas web al contenido mínimo definido en esta norma.

Artículo.120. Derogatorias. El presente decreto deroga los Decretos 1713 de 2002, 1140 de 2003 y 1505 de 2003 y el Capítulo I del Título IV del Decreto 605 de 1996 y todas las normas que le sean contrarias.

Artículo 121. Vigencia. El presente decreto rige a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial.

PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE.

Dado en Bogotá, D.C., a ____ de _____ de 2013.

 **20 DIC 2013**

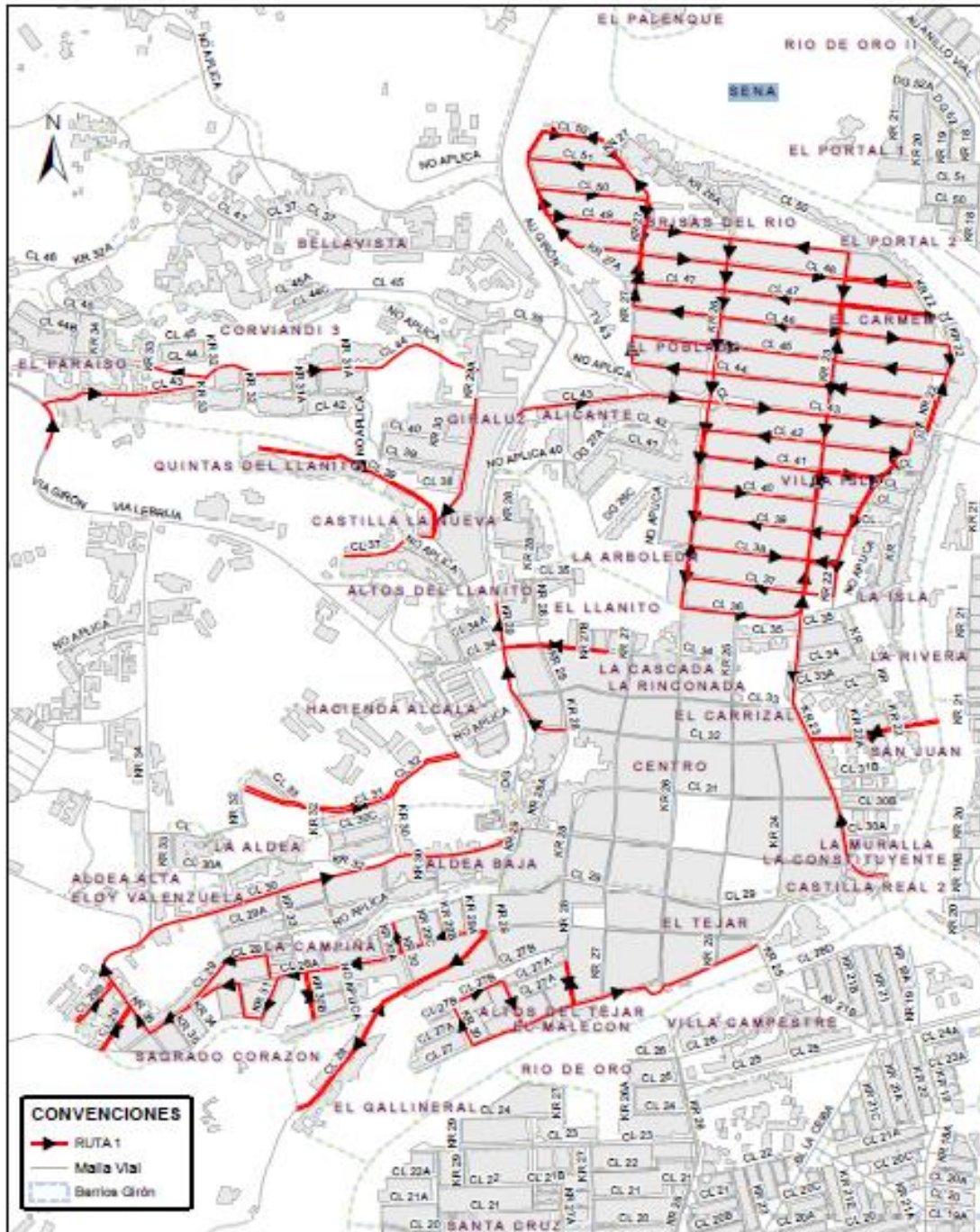
 
LUZ HELENA SARMIENTO VILLAMIZAR

La Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

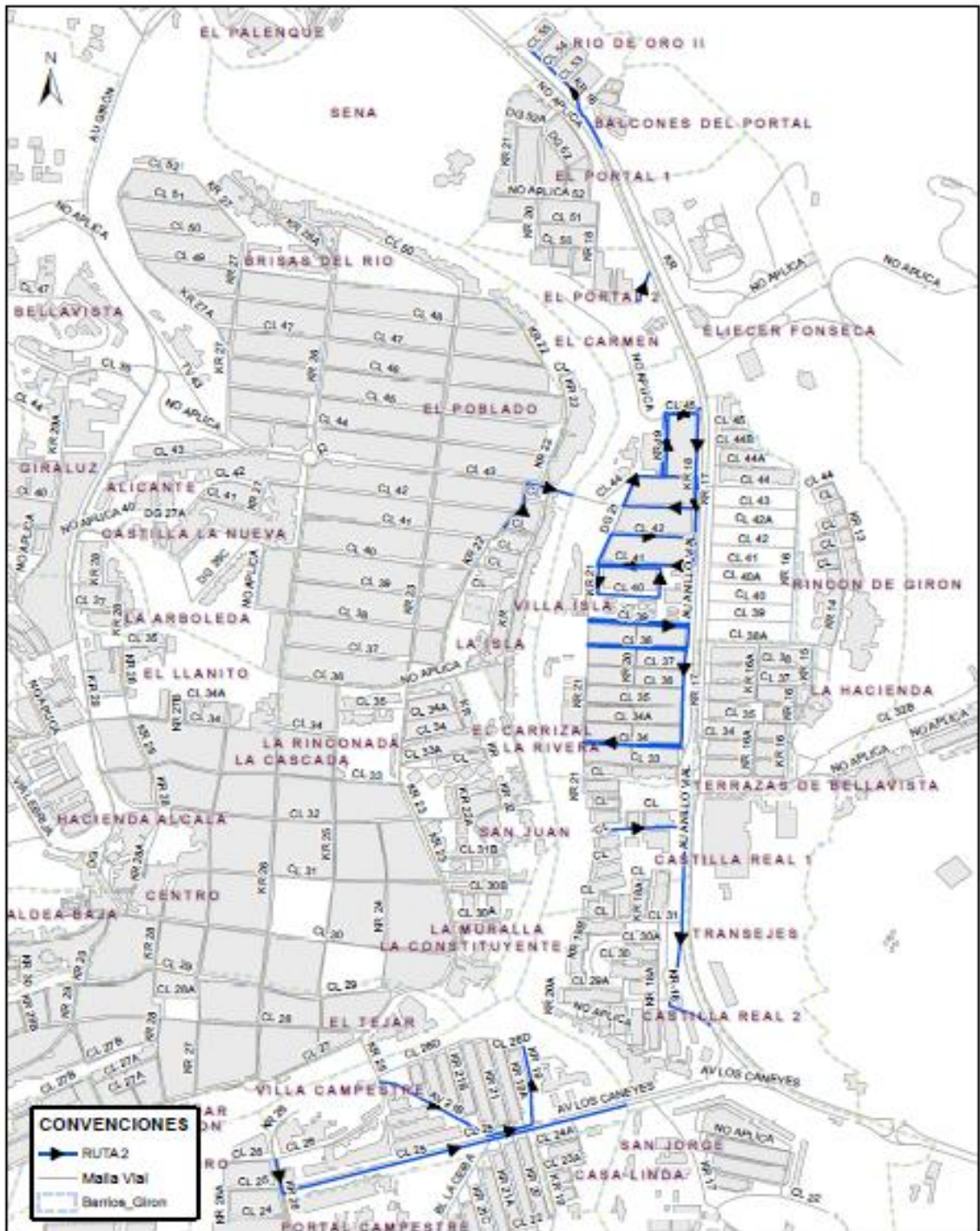

LUIS FELIPE HENAO CARDONA
El Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio

ANEXO I. Diseño de asignación de rutas de recolección de residuos sólidos

RUTA 1



RUTA 2



ruta 5

