



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

*Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo
Departamento de Ingeniería Industrial*

TRABAJO DE DIPLOMA

*Diseño y gestión de las principales rutas para la recolección de
residuos sólidos urbanos en Santa Clara*

Autora: Marileni Martínez Morales

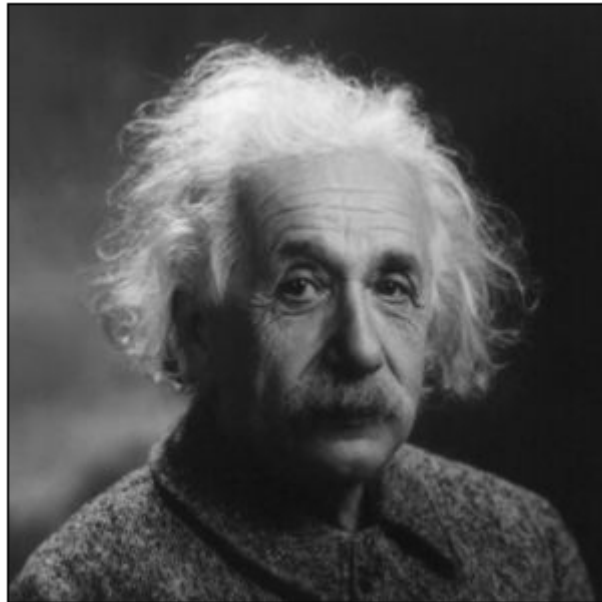
*Tutores: Dr. José Knudsen González.
Ing. Orelvis Borneo Torres.*

2006-2007

CON SU ENTRANABLE TRANSPARENCIA



Pensamiento



([14 de marzo](#) de [1879](#) - [18 de abril](#) de [1955](#)),

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: **La voluntad.**”

Albert Einstein.

Dedicatória

A mi tesoro PEDRO VICTOR

Agradecimientos.

Llegar hasta aquí es un reto para muchos y lograrlo con el apoyo y la confianza de todos los que me han acompañado en esta etapa de mi vida es una satisfacción difícil de expresar.

Excluir a uno de los que propiciaron un pequeño resultado de forma directa o indirecta sería injusto y mencionarlos todos otro reto.

Gracias a todos

Resumen.

RESUMEN

El constante crecimiento de las ciudades muchas veces sin seguir una planificación municipal, el aumento significativo de la población buscando siempre mejorar su calidad de vida y nuevos hábitos consumistas de sus habitantes, hacen cada día más difícil el manejo, transporte, recolección y disposición final de los residuos sólidos urbanos. Estos aspectos provocan el surgimiento de nuevas estrategias para la gestión de estos residuos. La gestión de las rutas de recolección de los residuos sólidos urbanos en la ciudad Santa Clara no esta ajena a la influencia de estos factores, los cuales hacen que la misma carezca de coordinación e integración que faciliten su desempeño. Es por esto que en la presente investigación se propone generalizar un procedimiento para el diseño y la gestión de las rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos, el cual en el mismo se incluyen un conjunto de técnicas y procedimientos específicos, que facilitan la toma de decisiones e inciden en el desempeño normal de la prestación de este servicio, contribuyendo a la disminución del consumo de combustibles fósiles, independientemente de los posibles beneficios ambientales, económicos y sociales que se derivan de su empleo. Como principal resultado de esta investigación se obtuvo la reducción en la distancia a recorrer por el vehículo recolector.

Summary.

SUMMARY

The constant growth of the cities many times do not follow a municipal planning, the significant increase of the population always look for ways to improve their quality of life and their inhabitants' new consumers habits', they make every day handling more difficult, transport, gathering and final disposition of the urban solid residuals. These aspects cause for the urgency of new strategies that allows them to adopt administration from the residuals to the current changes. The administration of the routes, gathers urban solid residuals in the city Santa Clara, unaware of the influence of these factors, which lacks coordination and integration that facilitate their acting. It is for this reason that in the present investigation he/she intends to give a general procedure of the design and administration of the routes for the gathering of urban solid residuals. This includes a group of technical and specific procedures that facilitate the decision making and they impact in the normal acting of the benefit of this service, contributing to the decrease of the consumption of fossil fuels, independently of possible environmental, economic and social benefits that are derived from their employment. As a result of this investigation the reduction was obtained in the distance of travel by the vehicle recollecting.

Índice.



Índice

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO – REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 Características de los residuos y su impacto en el medio ambiente. Situación de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el mundo.	4
1.2 Los métodos y los servicios de recolección de residuos sólidos urbanos.	11
1.2.1 Particularidades del caso cubano.	16
1.2.2 Procedimientos para el diseño y gestión de rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos.	17
1.3 Procedimiento general para el diseño y gestión de las rutas para la recolección de RSU.	21
1.3.1 Descripción del procedimiento general y sus procedimientos específicos	23
1.4 Conclusiones parciales	34
CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO	
2.1 Situación actual de la Dirección Provincial de Servicios Comunes en Villa Clara.	35
2.2 Caracterización del Servicio de Recolección de Residuos Sólidos en la ciudad de Santa Clara.	39
2.3 Conclusiones parciales	42
CAPITULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL DISEÑO Y LA GESTIÓN DE LAS PRINCIPALES RUTAS PARA LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN SANTA CLARA	
3.1 Resultados de la generalización del procedimiento general a las principales rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en Santa Clara	44
3.2 Análisis de los resultados obtenidos con la aplicación del procedimiento	63
3.3 Beneficios obtenidos con la aplicación del procedimiento	64
3.4 Conclusiones parciales	65
CONCLUSIONES GENERALES	67
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

Introducción.

INTRODUCCIÓN

Varias son las instituciones que han definido los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) [CEPIS, 1996; ERMP, 1995; NC 133, 2002] y en todos los casos coinciden en plantear que son el conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad.

En tal sentido la Organización Mundial de la Salud (OMS) y en especial, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) también se han preocupado por difundir las nuevas ideas, alternativas y procedimientos para lograr un adecuado manejo y recolección de los RSU. A esto se le añaden los esfuerzos que a nivel internacional se realizan para mejorar el problema del manejo de los RSU, incluso el establecimiento de fechas límites para alcanzar objetivos particulares y generales en la prestación de este servicio, con el fin de igualar los niveles óptimos alcanzados en el manejo de los RSU en algunos países de la región caribeña, conociendo de antemano las limitaciones que tienen para ello gran parte de los municipios y ciudades de los países de esta área. En la mayoría de los países en vías de desarrollo de América Latina no se tiene una conciencia ciudadana para darle al manejo de estos residuos una solución más práctica, económica y viable; que no afecte la salud de la población y el medio ambiente. Es responsabilidad, por lo tanto, de las oficinas y entidades estatales relacionadas con el tema, como ministerios de salud pública y del medio ambiente, abordar el problema.

En Cuba, existe coordinación y asignación de las tareas relacionadas con el servicio de recolección de RSU, pero la falta de recursos económicos y materiales no ha permitido que las Direcciones Provinciales y Municipales de Servicios Comunales puedan responder de igual manera en las diferentes regiones del país, ocasionando molestias en la población. Este precisamente es el caso del municipio de Santa Clara, el cual desde los años noventa ha presentado deficiencias para cumplir este servicio. Tanto la Dirección Provincial de Servicios Comunales como su Dirección Municipal buscan una solución práctica a este problema y necesitan dar continuidad a la

aplicación del procedimiento diseñado por Knudsen González & Gaitán Mesa(2006) para gestionar de forma adecuada todos los eslabones de la cadena, ofreciéndole a la población un mejor servicio, mejorar el entorno, cuidar el medio ambiente y disminuir los diferentes costos ocasionados en el desarrollo de esta actividad. Es importante aclarar, que hasta el momento solamente se ha diseñado y gestionado una zona de recolección de las nueve existentes en la ciudad.

Es precisamente aquí donde se evidencia la necesidad de generalizar este procedimiento en el resto de las rutas para lograr optimizar el servicio de recolección de RSU en la ciudad Santa Clara, lo cual implica desarrollar una investigación al respecto.

Hasta el momento en la ciudad Santa Clara solamente hay una zona de recolección diseñada y gestionada a partir del procedimiento elaborado por Knudsen González. & Gaitán Mesa .(2006). Esto provoca que en las ocho zonas de recolección restantes se mantengan deficiencias relacionadas con la descoordinación de los procesos logísticos en esta cadena de suministros.

Todo lo anterior caracteriza la situación problemática que originó la presente investigación, cuyo **problema científico** se resume como **la necesidad de generalizar el procedimiento para el diseño y gestión de las rutas de recolección de los RSU en la ciudad Santa Clara que permita una integración en los procesos logísticos buscando optimizar su desempeño, elevar los beneficios ambientales, así como económicos y sociales que se derivan del manejo de estos residuos.**

Por tanto, si se estudian las combinaciones de los procesos logísticos en las principales rutas para la recolección de RSU en la ciudad Santa Clara, logrando integración y coordinación en los mismos, evaluando su desempeño, que responda a minimizar los costos, mejorar el control sobre la gestión ambiental, optimizar la utilización de vehículos de recolección y los recursos y a elevar la satisfacción del cliente, se le puede dar respuesta a este problema científico.

En correspondencia con ello, se plantea la **hipótesis de investigación** siguiente: **si se generaliza el procedimiento diseñado en las principales rutas de recolección de RSU en la ciudad Santa Clara se propicia optimizar su desempeño, se contribuye**

a perfeccionar la gestión ambiental y económica de la organización y a elevar el nivel de servicio al cliente.

Esta hipótesis quedará validada si al generalizar el procedimiento en las principales rutas de recolección de RSU en la ciudad Santa Clara, se logra una planificación integrada de los procesos logísticos y una optimización del nivel de desempeño de dichas rutas.

Es por esto que el **objetivo general** de la investigación es generalizar el procedimiento diseñado en las principales rutas de recolección para los RSU de la ciudad Santa Clara. De este se derivan los **objetivos específicos** siguientes:

1. Construir el marco teórico-referencial de la investigación, derivado de la consulta de la literatura científica internacional y nacional más actualizada sobre las temáticas: características actuales de la recolección de los desechos sólidos urbanos, situación actual de este servicio y procedimiento para el diseño y gestión de rutas para la recolección de RSU.
2. Generalizar el procedimiento en las principales rutas para la recolección de RSU de la ciudad Santa Clara logrando un desempeño óptimo de la cadena.

Para complementar dichos objetivos la investigación se estructuró en tres capítulos:

Capítulo 1: Marco teórico – referencial de la investigación.

Se incluyen los temas mencionados anteriormente, incluyendo la fundamentación del procedimiento general y su descripción. También se argumentan las herramientas posibles a emplear.

Capítulo 2: Caracterización de la Dirección Provincial de Servicios Comunes en Villa Clara.

Se caracteriza la empresa encargada de ofrecer el servicio de recolección de RSU, así como las rutas de recolección existentes en la ciudad Santa Clara.

Capítulo 3: Aplicación del procedimiento para la gestión de las principales rutas de recolección de RSU en la ciudad Santa Clara

Se exponen los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento en las dos zonas de recolección más importantes de la ciudad. También se comentan los beneficios obtenidos con dicha aplicación.

Capitula J.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO – REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo expone los resultados de un estudio amplio y minucioso de las temáticas mostradas en la *figura 1.1*, la cual corresponde con el hilo conductor del marco teórico – referencial de la investigación que se presenta.

1.1 Características de los residuos y su impacto en el medio ambiente. Situación de los residuos sólidos urbanos en el mundo.

Hasta muy recientemente los residuos se depositaban, sin más, en vertederos, ríos, mares o cualquier otro lugar que se encontrara a disposición. En las sociedades agrícolas y ganaderas se producían muy pocos residuos no aprovechables. Con la industrialización y el desarrollo, la cantidad y variedad de residuos que se generan ha aumentado su cuantía y se siguen eliminando por el sistema del vertido. En los años cincuenta y sesenta del siglo pasado se comprobó las graves repercusiones para la higiene y la salud de las personas y los importantes impactos negativos sobre el ambiente que este sistema de eliminación de residuos tiene. Paralelamente a lo anterior la cantidad de todo tipo de residuos ha ido aumentando de forma acelerada y se ha hecho patente la necesidad de tratarlos adecuadamente para poder disminuir sus efectos negativos. Hay objetos o materiales que son residuos en determinadas situaciones, mientras que en otras se aprovechan [Bocalandro, Frid, Socolovsky, 2001].

Las organizaciones Mundial y Panamericana de la Salud [OMS/OPS, 2004] establecen que el manejo de los residuos debe contemplar la minimización de su generación, así como un adecuado reciclaje, recolección, tratamiento y disposición final. Para lograr esto, cada país y cada ciudad conjugarán estas áreas en sus programas de acuerdo a sus condiciones locales y a sus capacidades económicas. De acuerdo con las metas a corto y mediano plazo fijadas en la Conferencia de Naciones realizada en Basilea en el año 1992, los países en desarrollo tendrán que establecer sus capacidades para monitorear las cuatro áreas temáticas mencionadas anteriormente y a la vez, para crear programas nacionales con metas propias para cada una de ellas.

La mayoría de los autores consultados [CEPIS, 1996; ERMP, 1995; NC 133, 2002] coinciden en plantear que residuo es todo material en estado sólido, líquido ó

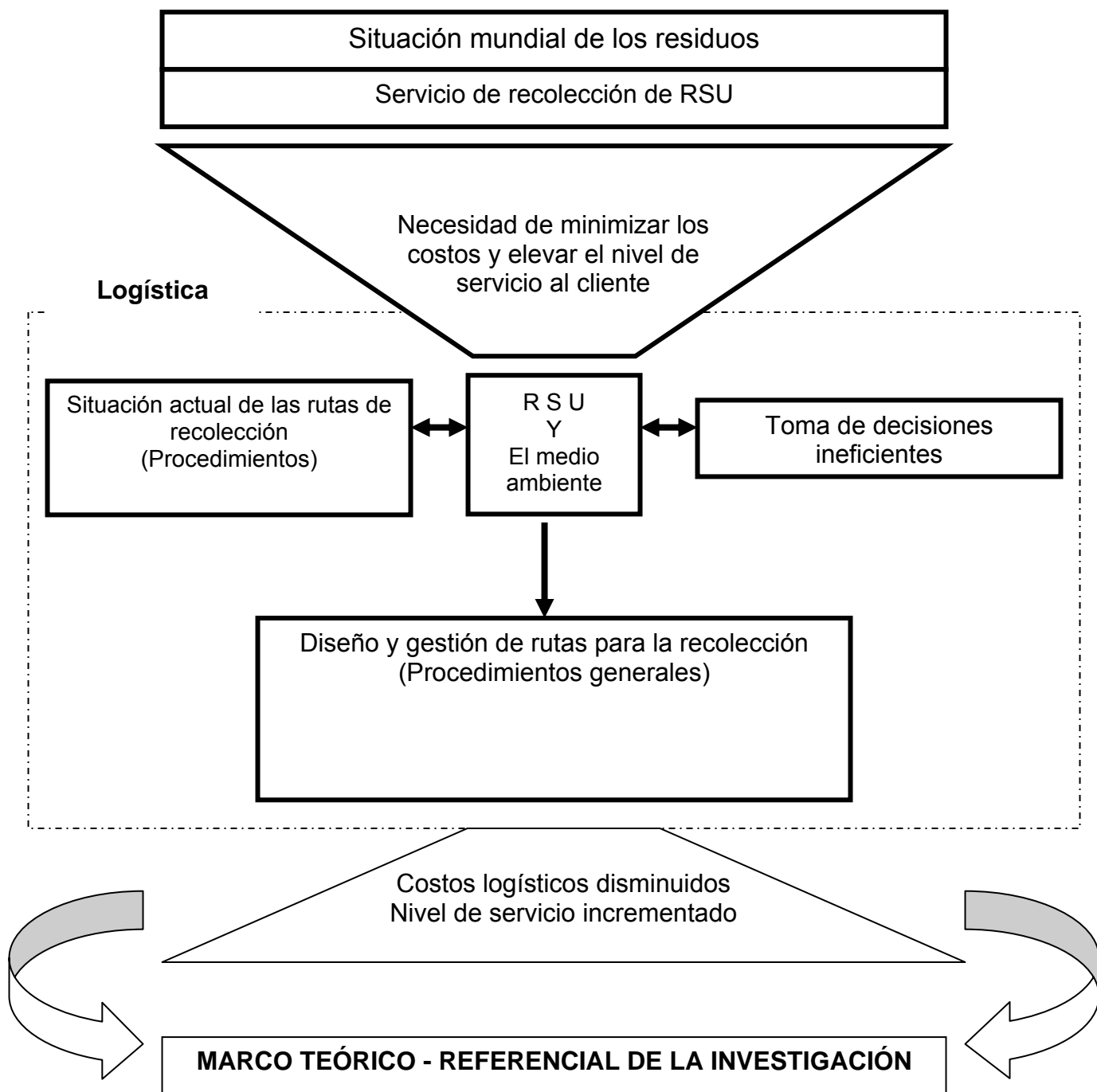


Figura 1.1: Estrategia para la construcción del marco teórico referencial de la investigación [Fuente: Elaboración propia]

gaseoso, ya sea aislado o mezclado con otros, resultantes de un proceso de extracción de la naturaleza, transformación, fabricación o consumo, que su poseedor decide abandonar. Partiendo de esta definición en lo adelante se hará referencia a algunos de los residuos que con mayor frecuencia se encuentran en la sociedad, sus características y su impacto en el medio ambiente. Como se ve en las definiciones resumidas en el *anexo 1*.

Los tipos de RSU más comunes son:

1. Los **residuos inertes** son escombros, gravas, arenas y demás materiales que no presentan riesgo para el ambiente. Hay dos posibles tratamientos para estos materiales: reutilizarlos como relleno en obras públicas o construcciones o depositarlos en vertederos adecuados.

El principal impacto negativo que pueden producir es el visual, por lo que se debe usar lugares adecuados, como canteras abandonadas o minas al aire libre y se deben recubrir con tierra y plantas para reconstruir el paisaje.

2. Entre los **residuos agrarios** se incluye los residuos de las actividades del llamado sector primario de la economía agricultura, (ganadería, pesca y actividad forestal) y los producidos por industrias alimenticias, desde los mataderos y las empresas lácteas hasta las harineras y el tabaco. La principal dificultad para un aprovechamiento adecuado de estos residuos es la económica y por eso se deben pensar incentivos que faciliten su uso. Ayudas a la agricultura ecológica que usa abonos naturales o al uso de la biomasa para obtener energía.

Dentro de este tipo de residuo también se incluyen los restos orgánicos de las explotaciones, los cuales se acumulan en un reactor en el que fermentan. En este proceso se produce gas metano que se quema para dar energía. Si el tamaño de la explotación es suficiente puede abastecerse de energía y en los países en vías de desarrollo está siendo la fuente principal de energía de muchas familias que no tienen acceso a suministros comerciales de combustible o electricidad.

3. Los **residuos clínicos** restos orgánicos, material de quirófano y curas, que se producen en los consultorios, policlínicos y hospitales pueden propagar

enfermedades Su tratamiento normal es la incineración que asegura la eliminación de los microorganismos.

4. Los **residuos peligrosos** son sustancias inflamables, corrosivas, tóxicas o pueden producir reacciones químicas cuando están en concentraciones que pueden ser peligrosas para la salud o para el ambiente.

Otro hecho que aumenta el daño es la bioacumulación que se produce en sustancias, como algunos pesticidas del grupo del DDT. En otras ocasiones los residuos se transforman en sustancias más tóxicas que ellos mismos.

La industria que contribuye más a la producción de residuos tóxicos, es la química responsable de alrededor de un tercio de todos los que se generan. Después se sitúan la del automóvil, la metalurgia seguidas por la industria papelera, alimentaría y de la piel

5. Los **residuos radiactivos** en cantidades muy pequeñas pueden originar dosis de radiación peligrosas para la salud humana y algunos de estos isótopos permanecerán emitiendo radiaciones miles y decenas de miles de años. Así se entiende que aunque la cantidad de este tipo de residuos que se producen en un país sea comparativamente mucho menor que la de otros tipos, sus tecnologías y métodos de tratamiento sean mucho más complicados y difíciles.

Para estos residuos los almacenes definitivos, por lo general son subterráneos, en los cuales debe garantizarse la no existencia de filtraciones de agua, que pudieran arrastrar isótopos radiactivos fuera del vertedero.

El problema se agrava porque la creciente actividad industrial genera muchos productos que son tóxicos o muy difíciles de incorporar a los ciclos de los elementos naturales. En varias ocasiones los productos químicos acumulados en vertederos que después han sido recubiertos de tierra y utilizados para construir viviendas sobre ellos han causado serios problemas, incluso dañando la salud de las personas.

Por ultimo es importante aclarar que los residuos radiactivos o tóxicos y peligrosos deben ser sometidos a tratamiento especial, según cual sea su naturaleza.

En los países desarrollados se vierten diariamente a la basura gran cantidad de objetos y materiales que en los países en vías de desarrollo volverían a ser utilizados o seguirían siendo bienes valiosos. Además muchos residuos se pueden reciclar si se dispone de las tecnologías adecuadas y el proceso es económicamente rentable. Una buena gestión de los residuos persigue precisamente no perder el valor económico y la utilidad que pueden tener muchos de ellos y usarlos como materiales útiles en vez de desecharlos.

Lo ideal sería recuperar y reutilizar la mayor parte de los RSU. Con el papel, telas, cartón se puede obtener pasta de papel, lo que evita talar nuevos árboles. Según [Huete Estibaliz 2004], con el vidrio se puede fabricar nuevas botellas y envases sin necesidad de extraer más materias primas y, sobre todo, con mucho menor gasto de energía. Los plásticos se separan, porque algunos se pueden usar para fabricar nueva materia prima y otros para construir objetos diversos. Se debe impulsar el reciclaje con campañas de sensibilización que tanto éxito han tenido en muchas comunidades. Hay muchos lugares en los que se ha reducido más del 40% el volumen de los desechos generados. También en este caso las autoridades deben ayudar, además, a que se usen adecuadamente los materiales reciclados y a que haya mercado para ellos. Para facilitar el reciclaje y la adecuada disposición de los desechos se deben impulsar sistemas de recogida y plantas de tratamiento de los desechos que faciliten el separar los distintos componentes.

La gestión adecuada de los RSU incluye varias fases:

a) **Recogida selectiva:** La utilización de contenedores que recogen separadamente el papel y el vidrio está cada vez más extendida y también se están poniendo otros contenedores para plásticos, metal, pilas, etc. La gestión de los RSU en cada domicilio de las comunidades más avanzadas se realiza recogiendo los distintos tipos de residuos en diferentes bolsas y se cuida especialmente el trabajo previo del ciudadano separando los diferentes tipos de basura. También se están diseñando camiones para la recogida y contenedores con sistemas que facilitan la comodidad y la higiene en este trabajo.

b) **Recogida general:** La bolsa general de basura, en aquellos sitios en donde no hay recogida selectiva, o la que contiene lo que no se ha puesto en los contenedores

específicos, se deposita en contenedores o en puntos especiales de las calles y desde allí es transportada a los vertederos o a las plantas de selección y tratamiento.

c) **Plantas de selección o transferencia:** En los vertederos más avanzados, antes de tirar la basura general, pasa por una zona de selección en la que, en parte manualmente y en parte con máquinas se le retiran latas (con sistemas magnéticos), cosas voluminosas, etc. [Huete Estibaliz 2004]. Esto puede ser uno de los objetivos de las estaciones de transferencia, las cuales reciben los residuos sólidos al descargar los vehículos recolectores, para posteriormente transferirlos a un vehículo de mayor capacidad y así ser transportados hasta la planta de tratamiento o al sitio de disposición final. Estos grandes vehículos suelen ser camiones, vagones de ferrocarril o barcos. En la actualidad el sistema de transferencia para residuos sólidos municipales se está volviendo una instalación necesaria en las grandes ciudades, debido al continuo alejamiento de los sitios de tratamiento y de disposición final.

Los tráiler de transferencia generalmente transportan una carga útil aproximada entre 20 y 25 t de residuos. Esto equivale a un promedio de cinco a seis vehículos recolectores. Las principales ventajas que presenta un sistema de transferencia enunciadas por Semarnat [2005], son la disminución de los costos globales de transporte y de horas improductivas de mano de obra empleada en la recolección, reducción del tiempo improductivo de los vehículos de recolección en su recorrido al sitio de disposición final, aumento de la vida útil y disminución en los costos de mantenimiento de los vehículos recolectores, incremento en la eficiencia del servicio de recolección (por medio de una cobertura más homogénea y balanceada en las principales rutas de recolección), mayor regularidad en el servicio de recolección (debido a la disminución de desperfectos de ejes, muelles, suspensiones y llantas que sufrían al transitar hasta el sitio de disposición final), reducción en la contaminación ambiental y de forma general reducen las afectaciones a la salud pública.

De forma tradicional, durante años, los agricultores han reunido los desperdicios orgánicos para transformarlos en abono para sus tierras. Compostar dichos restos no es más que imitar el proceso de fermentación que ocurre normalmente en un suelo de un bosque, pero acelerado y dirigido. El abono resultante proporciona a las tierras a las que se aplica prácticamente los mismos efectos beneficiosos que el humus para

una tierra natural. El procedimiento más usual, aunque no el mejor, de disponer de los desechos suele ser depositarlas en vertederos. Un vertedero controlado es un agujero en el que se compacta e impermeabiliza tanto el fondo como los laterales. En estos vertederos los desechos se colocan en capas y se recubre todos los días con una delgada capa de tierra para dificultar la proliferación de ratas y malos olores y disminuir el riesgo de incendios.

En este tipo de vertederos se instalan sofisticados sistemas de drenaje para las aguas que resuman y para los gases (metano) que se producen. Las aguas se deben tratar en plantas depuradoras antes de ser vertidas a ríos o al mar y los gases que se recogen se aprovechan en pequeñas plantas generadoras de energía que sirven para abastecer las necesidades de la planta de tratamiento de residuos y, en ocasiones, pueden añadir energía a la red general.

Cuando el vertedero se llena se debe recubrir adecuadamente y dejar el terreno lo más integrado con el paisaje posible. Si esto se hace bien, según Huete, [2004], el lugar es apto para múltiples usos, pero se debe seguir controlando durante cierto tiempo ya que después de cerrado pudiera acumularse metano, el cual podría provocar peligrosas explosiones.

Otra opción para la disposición final es quemar los desechos sólidos, lo cual tiene varias ventajas, pero también inconvenientes. Entre las ventajas están la reducción del volumen vertido (sólo quedan las cenizas) y la obtención de cantidades apreciables de energía. Entre las desventajas se destaca, la producción de gases contaminantes, algunos potencialmente peligrosos para la salud humana, como las dioxinas [Echarri, 2004]. Al respecto es de destacar, que existen incineradoras de avanzada tecnología que, si funcionan bien, reducen en gran medida los aspectos negativos, pero su construcción y manejo es muy costoso. Para que sean rentables deben tratar grandes cantidades de desechos.

Con la tecnología actual sería posible reducir el impacto negativo de cualquier contaminante a prácticamente cero. Por eso, en la gestión de los residuos tóxicos se busca tratarlos y almacenarlos de forma que no resulten peligrosos, dentro de un costo económico proporcionado. Esto se consigue con diversos procedimientos, dependiendo de cual sea el tipo de residuo. Uno de estos son los tratamientos físicos,

químicos y biológicos. En estos se somete el residuo a procesos físicos (filtrado, centrifugado, decantado), biológicos (fermentaciones, digestiones por microorganismos) o químicos (neutralizaciones, reacciones de distintos tipos). De esta forma se consigue transformar el producto tóxico en otros que lo son menos y se pueden trasladar a vertederos o usar como materia prima para otros procesos. Las plantas de tratamiento tienen que estar correctamente diseñadas para no contaminar con sus emisiones.

Una de las tendencias actuales de la gestión de residuos en algunos países industrializados consiste en enviar los residuos tóxicos y peligrosos a otros países poco desarrollados. Debido a esto el Convenio Internacional de Basilea del año 1992 ha limitado fuertemente estas prácticas, mediante la regulación del tráfico de residuos entre países, para que no acaben produciendo en otro país los daños ambientales que se impiden en el de procedencia.

Para poder llevar a la práctica las fases que se incluyen en la gestión de los residuos se deben conocer los métodos de los servicios de recolección de los RSU y sus métodos.

1.2 Los métodos y los servicios de recolección de RSU.

La recolección de residuos según la Enciclopedia [2005] es, en términos generales, la manipulación de los residuos sólidos desde su almacenamiento en la fuente generadora hasta el vehículo recolector y luego su traslado hasta el sitio de disposición final o hasta la estación de transferencia.

Atendiendo al grado de especialización de los vehículos recolectores utilizados en la prestación del servicio los **métodos de recolección** pueden clasificarse en métodos mecanizados, semimecanizados (normalmente se utilizan en localidades altamente urbanizadas) y métodos manuales (se efectúan con equipos no convencionales) que son más usuales en zonas deprimidas y de difícil acceso, así como en localidades eminentemente rurales [SEDESOL 1997].

Según el tipo de demanda por atender, existen dos métodos de recolección; para demandas de tipo continuo y semicontinuo y, para demandas de tipo discreto; se puede decir que ***un método de recolección está definido por el tipo de demanda exigida y por el grado de tecnificación de los equipos utilizados.***

Es importante destacar, que el método empleado en la recolección es la parte medular del sistema de recolección de los RSU ya que el nivel de organización que guarden los métodos de recolección de un determinado sistema, será el indicador más representativo del nivel de servicio que se les oferta a los clientes.

Según las demandas del servicio y el grado de tecnificación de los equipos (mismo que se encuentra relacionado de manera directa con el nivel de servicio y, de forma inversa con la participación del usuario mismo en el cumplimiento del servicio), los **métodos de recolección** pueden ser diversos, a continuación se comentan algunos de ellos:

1. Método de Esquina o de Parada Fija

Es el método más económico en el cual los usuarios del sistema llevan sus recipientes hasta donde el vehículo recolector se estaciona para prestar el servicio.

Una vez que los usuarios han llegado hasta el vehículo, forman una fila ordenada para que un operador les tome el recipiente y, lo entregue a otro que se encuentra dentro de la carrocería del vehículo, el cual vacía su contenido y lo regresa al operario que se le entregó para que, a su vez, se lo devuelva al usuario, quien después de ser atendido se retira del lugar. Esta operación se repite tantas veces como sea necesario, hasta atender a todos los usuarios que lo hayan solicitado.

2. Método de Acera

En este método, el personal operario del vehículo recolector toma los recipientes con basura que sobre la acera han sido colocados por los usuarios del servicio, para después trasladarse hacia el vehículo recolector, con el fin de vaciar el contenido dentro de la tolva o sección de carga de dicho vehículo; regresándolos posteriormente al sitio de la acera de donde los tomaron, para que los usuarios atendidos los introduzcan ya vacíos a sus domicilios.

Para que se cumpla debidamente lo antes descrito se requiere, además de amplio civismo por parte de los usuarios del sistema, que el vehículo recolector transite a bajas velocidades en ambos sentidos de la calle; por consiguiente, es lógico pensar que este método tiene más posibilidades de ser implantado ordenadamente en aquellas localidades que cuentan con calles de doble sentido.

Este método, además de ser más costoso que el de esquina, presenta el inconveniente de que animales domésticos y no domésticos (perros, gatos y ratas entre otros), pueden verse atraído por recipientes con basura sobre la acera, pudiendo en un momento dado, dispersar la misma al buscar su alimento. Y otra desventaja está en que la recolección se realiza en forma más lenta. Para evitar o atenuar este inconveniente, suele recomendarse el uso de bolsas de polietileno herméticamente cerradas, así como el empleo de canastillas elevadas en las aceras, donde se colocan los recipientes con los residuos; sin embargo, esto puede involucrar un costo adicional para los usuarios, que no siempre están dispuestos a cubrir.

3. Método de "Llevar y Traer" o Intradomiciliario

Este método es semejante al anterior, con la variante de que los operarios del vehículo recolector, entran hasta las casas en busca de los recipientes con basura, regresándolos hasta el mismo sitio de donde los tomaron, una vez de haberlos vaciado dentro de la caja del vehículo. Naturalmente, este método de recolección suele resultar más costoso que el de acera y, aún más que el de esquina.

4. Método de Contenedores

Este método es semejante al de esquina en cuanto a que el vehículo recolector debe detenerse en ciertos puntos predeterminados para realizar la prestación del servicio. Puede decirse que este método es el más adecuado para realizar la recolección en centros de gran generación o de difícil acceso; como pueden ser hoteles, mercados, centros comerciales, hospitales, tiendas de autoservicio y zonas marginadas, entre otras.

La localización de los contenedores, deberá disponerse de tal manera, que el vehículo recolector tenga un fácil acceso a ellos y que, además, pueda realizar maniobras sin problemas.

No debe pensarse, no obstante, que en todos los casos los métodos de recolección mencionados se cumplen tal y como fueron descritos, puesto que de una u otra manera siempre existe alguna variante en cuanto al equipo, participación del usuario y número de empleados que prestan servicio (por señalar tan sólo algunas de ellas), que los diferencian de los antes mencionados.

La prestación de servicio de recolección es una de las etapas más costosas en un sistema de manejo de RSU. Esto se fundamenta por lo planteado anteriormente. El autor de esta investigación comparte el criterio de autores e instituciones como Sakurai [1980] y SEDESOL [1997], los cuales coinciden en plantear que esta etapa presenta las mayores oportunidades para la minimización de costos. Es por esto que a continuación se detallan los diferentes tipos de servicio de recolección de los RSU.

a) Servicio de recolección diaria

Los camiones recolectores deben recorrer la totalidad de las rutas diariamente, excepto los Domingos; por lo que los Lunes, la basura que se recolecta corresponde al período Sábado Domingo. Para efectos prácticos, puede decirse que los Lunes se recolecta un 100% más de basura, que el resto de los días de la semana.

Naturalmente, esta frecuencia es la que ofrece una mejor imagen del sistema hacia los usuarios pero, al mismo tiempo, es el que mayor costo involucra.

b) Servicio de recolección cada tercer día

El camión recolector pasa un día si y otro no, a excepción de los Domingos, por lo que equivale a pasar tres veces por semana.

Con este sistema se tienen las ventajas siguientes:

- Los camiones recolectores se llenan en un tiempo más corto y en un recorrido menor; es decir, el concepto de "costo por tonelada-kilómetro", sería menor al compararla con la frecuencia diaria. Para aclarar este concepto, se puede decir que cada camión recolector recorre cierta distancia cargando y recolectando los desechos de un solo día bajo el primer sistema; mientras que el mismo camión recorrería la mitad de esa distancia al llenarse más rápido, recolectando la basura de dos días.
- A mediano y largo plazo, los costos por concepto de mantenimiento serían menores, también por tonelada de basura transportada.

c) Servicio de recolección dos veces por semana

El camión establece un horario de servicio en el que se eligen dos días a la semana cada dos y/o tres días.

Los conceptos indicados anteriormente, referentes al "costo por tonelada-kilómetro", en teoría se abaten conforme se disminuye la frecuencia de recolección, ya que los camiones recolectores se llenarían cada vez más rápido y en un recorrido cada vez menor; por lo cual las dos primeras ventajas que se indican para la alternativa anterior, se hacen mayores conforme se disminuye la frecuencia.

Por otro lado, la sobrecarga que representa la recolección en seis días de la semana, se reparte en un mayor número de días, conforme se disminuya la frecuencia en la recolección.

Sin embargo, así como se incrementan esas ventajas, la disminución de la frecuencia agudiza también la desventaja que se mencionó, creando una desventaja adicional que consiste en la posibilidad de que proliferen los mini vertederos clandestinos, al incrementarse las incomodidades de los habitantes servidos.

Equipos de recolección para los RSU

Con respecto a los equipos de recolección y transporte primario, se sugiere que, siempre que sea factible (por las características físicas y poblacionales de la localidad), se empleen vehículos con carrocerías de gran capacidad, provistos de compactadoras para contribuir a la disminución de los costos de recolección.

En términos generales, puede decirse que existen carrocerías para vehículos recolectores de carga lateral, trasera y frontal. Estas últimas se usan exclusivamente para la carga mecánica de contenedores, mediante un dispositivo consistente en un par de brazos, que ensamblan con el contenedor, elevándolo y vaciándolo por la parte superior de la caja compactadora.

Es importante destacar, que no siempre es adecuado el uso de vehículos especializados para la recolección de los residuos sólidos ya que no en todos los casos la traza urbana brinda las facilidades de acceso, penetración, maniobrabilidad y pendiente, requeridas para la utilización y máximo aprovechamiento de estos vehículos. En muchos casos la utilización de unidades de las consideradas como "no

convencionales", pueden dar mejores resultados tanto en costo como en rendimiento y eficiencia, que los obtenidos con el uso de unidades recolectoras especializadas.

Al respecto, debe entenderse como "unidad no convencional de recolección", todo aquel vehículo utilizado para la prestación de este servicio, en sustitución de cualquier equipo de recolección considerado como especializado. De esta manera, desde un vehículo movido por tracción animal, hasta un vehículo del tipo volteo (vehículos descubiertos y carentes de sello hermético en el fondo, propician el esparcido de residuos y líquidos contenidos en los residuos), pueden incluirse en este término. Normalmente, este tipo de unidad se utiliza en zonas de difícil acceso.

1.2.1 Particularidades del caso cubano

En Cuba el manejo de los residuos sólidos urbanos constituye también un problema aún no resuelto que se acrecienta por las limitaciones económicas propias de los países en vías de desarrollo, y de modo muy especial por ser un país bloqueado económica y tecnológicamente; no obstante, se han logrado discretos resultados en la recuperación, rehúso y reciclaje de desechos industriales, tanto en el sector comercial como en la población.

Por lo general, cuando se aborda esta problemática es para hacer alusión a los problemas ambientales que provocan su mal manejo y a las cada vez mayores extensiones de tierra necesarias para la construcción de vertederos, o tal vez para lamentar los elevados volúmenes de materias primas que se entierran. Pocas veces se piensa en los recursos energéticos necesarios para su transportación desde el lugar de origen hasta su destino final tradicional y, por lo tanto, en el ahorro de energía que podría alcanzarse si se realizara una recogida selectiva de ellos, para su posterior reutilización o reciclaje.

Los últimos estudios realizados en Cuba mostrados por Cubasolar [2002] plantean una generación diaria de 4 000 toneladas, para un promedio de 0,5 Kg. por habitante cada día, con la siguiente composición (caso Ciudad de La Habana): residuos orgánicos (59,45 %), papel y cartón (20,34 %), vidrio (3,62 %), metales (6,23 %), plástico (1,68 %), textiles (3,36 %), madera (0,6 %), cuero y hueso (0,44 %) y otros (3,19 %).

Los medios de transporte que se utilizan en Cuba son muy variados, tales como equipos de tracción animal y vehículos motorizados que consumen gasolina o petróleo. Tomando como hipótesis que estos vehículos posean una capacidad para transportar once toneladas de RSU, con un consumo de siete litros de combustible promedio, se tiene que se necesitarán cien viajes diarios para trasladar los RSU hasta los vertederos establecidos, con un consumo de 700 l de combustible. Además, esta actividad repercute en la contaminación atmosférica de las ciudades y campos, ya que la combustión de cada litro de petróleo que se consume genera más de 800 g de CO², que si lo multiplicamos por la cantidad de combustible fósil que es necesario consumir diariamente para la transportación de más de 4000 toneladas diarias en todo el país constituyen volúmenes considerables.

Y para esta gran batalla, además de grandes recursos tecnológicos y económicos, se necesita concebir instrumentos educativos más eficientes e integrar cada vez más la dimensión ambiental para un desarrollo sostenible, tomando con mayor intensidad la problemática de los residuos sólidos urbanos como eje temático en los diferentes subsistemas de enseñanza, desde la preescolar hasta la universitaria.

1.2.2 Procedimientos para el diseño y gestión de rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos

Según Sakurai Kunitoshi [1980], las etapas del procedimiento para el diseño de las rutas de recolección son cinco: se inicia con la sectorización, en la cual se determinan los límites de los sectores y subsectores, luego una diagramación, en la cual se siguen algunas reglas para su elaboración, después se verifican las rutas, se implementan y por último se evalúan las rutas ya implantadas. Hay que destacar que este procedimiento es básicamente manual.

Según SEDESOL [1997], las etapas del procedimiento para el diseño de las rutas de recolección son dos: macroruteo, requerimientos para diseñar macro rutas, los cuales consisten en la asignación de vehículos recolectores a diversas áreas de la ciudad para realizar la recolección, se puede hacer partiendo de una población de una zona de la ciudad, de la producción de residuos en Kg. /habitante por día y de la frecuencia del servicio, expresado en días por semana. La segunda etapa es microruteo, que no

es más que un recorrido específico que deben cumplir diariamente los vehículos de recolección en las áreas de la población donde han sido asignados. El objetivo es recolectar los residuos sólidos generados por los habitantes de dicha área, utilizando métodos heurísticos y modelos matemáticos. En este procedimiento es evidente y necesario el uso de la computadora y de software especializados.

Los elementos básicos que comparten y son requeridos por estos procedimientos son:

- Un estudio de generación de residuos sólidos, que determine la generación per cápita domiciliaria, así como la generación que se da en otras fuentes municipales.
- Un mapa actualizado y detallado de la ciudad o zona a recolectar
- La localización de las fuentes no domiciliarias de desechos que serán atendidas por el servicio
- Datos de la densidad poblacional.

La división en “ n ” áreas de recolección, requiere de tener en consideración los factores siguientes:

- Las fronteras naturales como son ferrocarriles, carreteras o calles muy transitadas y los ríos o canales que atraviesan la ciudad.
- Las diferentes densidades de población y tipo de basura de la ciudad.
- El tiempo y la distancia empleados para un viaje redondo hasta el sitio de disposición final.

Se debe considerar que las macrorutas son áreas compactas, que generalmente comprenden barrios enteros, y que se diseñan con la finalidad de que, en las áreas determinadas, se realice un recorrido específico con el vehículo, que cubra la mayor cantidad de viviendas y con la mayor eficiencia en carga.

No existe algoritmo o programa para macrorutear, el diseñador de las macrorutas, contando con los elementos descritos, dividirá la ciudad en n áreas iguales, de tal forma que cada una de esas áreas genere aproximadamente la cantidad de basura que llene un camión durante su recorrido dentro de estas.

En general la distribución de rutas involucra una serie de dificultades dado que no es un hecho trivial, el designar la ruta óptima a seguir entre dos puntos determinados, considerando las restricciones que esto conlleva, si se considera el método de recolección, las vialidades existentes, los horarios, etc.

En la actualidad existen diversos métodos para tratar de encontrar la mejor ruta posible, que cumpla con los objetivos y las restricciones de cada caso; pero ningún método, por científico o moderno que sea, por simple o complejo, podrá por si solo dar los mejores resultados en la operación del sistema de recolección de RSU, y en especial de las rutas.

Algunos lineamientos heurísticos que deberían ser tomados en consideración cuando se planean las rutas de recolección son los siguientes [SEDESOL, 1997]:

1. Existencia de políticas y regulaciones relativas a detalles como el punto de recolección y la frecuencia de recolección.
2. Cuando sea posible, las rutas deben ser planeadas para comenzar y terminar cerca de calles arteriales, usando barreras topográficas y físicas como fronteras de las rutas.
3. Los desechos generados en las localidades de tráfico congestionado, deberían ser recolectados lo más temprano del día que sea posible, o en un horario en el que el tráfico afecte lo menos posible el recorrido del vehículo.
4. Las fuentes en las cuales cantidades extremadamente grandes de desechos sean generados, deben ser servidas durante la primera parte del día.
5. En puntos dispersos, en donde pequeñas cantidades de desechos sólidos son generados y que reciben la misma frecuencia de recolección, deberán, si es posible, ser servidos durante un viaje o en el mismo día.
6. Tratar de aumentar la distancia productiva en relación a la distancia total.
7. Los recorridos no deben fragmentarse. Cada uno debe consistir en tramos que queden dentro de la misma área de la ciudad.
8. En lo posible hay que tratar de recoger simultáneamente ambos lados de la calle.
9. Cuando hay estacionamiento de vehículos, hay que procurar efectuar la recolección en los momentos en que la vía está más despejada.
10. En el caso de calles muy cortas o sin salida, es preferible que los camiones recolectores no entren en ellas, sino que esperen en la esquina y que el personal vayan a buscar los botes con basura.
11. Deben evitar duplicaciones, repeticiones y movimientos innecesarios.
12. Deben contemplar las disposiciones de tránsito.

13. Deben minimizar el número de vueltas izquierdas y redondas (giros en "U"), con el propósito de evitar pérdidas de tiempo al cargar, reducir peligros a la tripulación y minimizar la obstaculización del tráfico.
14. Dentro de lo posible, las rutas deberían iniciarse en los puntos más cercanos al garaje, y conforme avanza el día, ir acercándose al lugar de disposición final con el propósito de disminuir el tiempo de acarreo.
15. Las partes más elevadas deben recorrerse en los inicios de ruta.
16. Dentro de lo posible, las vías empinadas deben recorrerse cuesta abajo, realizando la recolección de ambos lados de las vías, con el fin de aumentar la seguridad del trabajo, acelerar la recolección, minimizar el desgaste de equipos y reducir el consumo de combustible y aceite.
17. Cuando se usa el trazo "Peine" (recolección de ambos lados de las vías, recorriéndose una vez por cada vía), generalmente es preferible desarrollar las rutas con recorridos largos y rectos antes que dar vueltas a la derecha
18. Cuando se usa el trazo "Doble peine" (recolección de un lado de las vías, necesitándose recorrer por lo menos dos veces por cada vía), generalmente es preferible desarrollar las rutas con muchas vueltas en el sentido de las agujas del reloj, alrededor de las manzanas.

Estos procedimientos para el diseño de las principales rutas de recolección de RSU son claros y concretos pero de forma individual no se pueden aplicar y no se ajustan en toda su magnitud a las particularidades que requiere el objeto de estudio de la presente investigación, por lo que es preciso utilizar el procedimiento diseñado por Gaitán Mesa(2006) para vincular la información obtenida en esta investigación y ofrecer una mejor alternativa de solución al problema científico descrito.

1.3 Procedimiento general para el diseño y la gestión de las principales rutas de recolección de RSU de la ciudad Santa Clara

El procedimiento se ha estructurado en **tres etapas** agrupadas en **siete fases**, cada una de las cuales incluye diferentes aspectos, tal y como se muestra en la figura 1.2. En esta se observa que el procedimiento se inicia con la primera etapa, que abarca el diseño de las rutas, la cual incluye las fases de caracterización de la situación actual, sectorización del territorio, determinación de los límites de los sectores y subsectores y diagramación de las rutas. La segunda etapa, está dedicada a la planificación de las rutas, que incluye las fases: verificación del diseño de las rutas y la implementación de las mismas. La última etapa dedicada al control, incluye la fase de seguimiento y control. Su función principal es detectar las posibles desviaciones que surgieron en las rutas diseñadas y gestionadas. Es importante resaltar, que la unión de las etapas II y III son las que permiten la gestión de las principales rutas de recolección. Por último, en el caso que existan desviaciones hay la posibilidad de recomenzar la aplicación completa del procedimiento o parte de este.

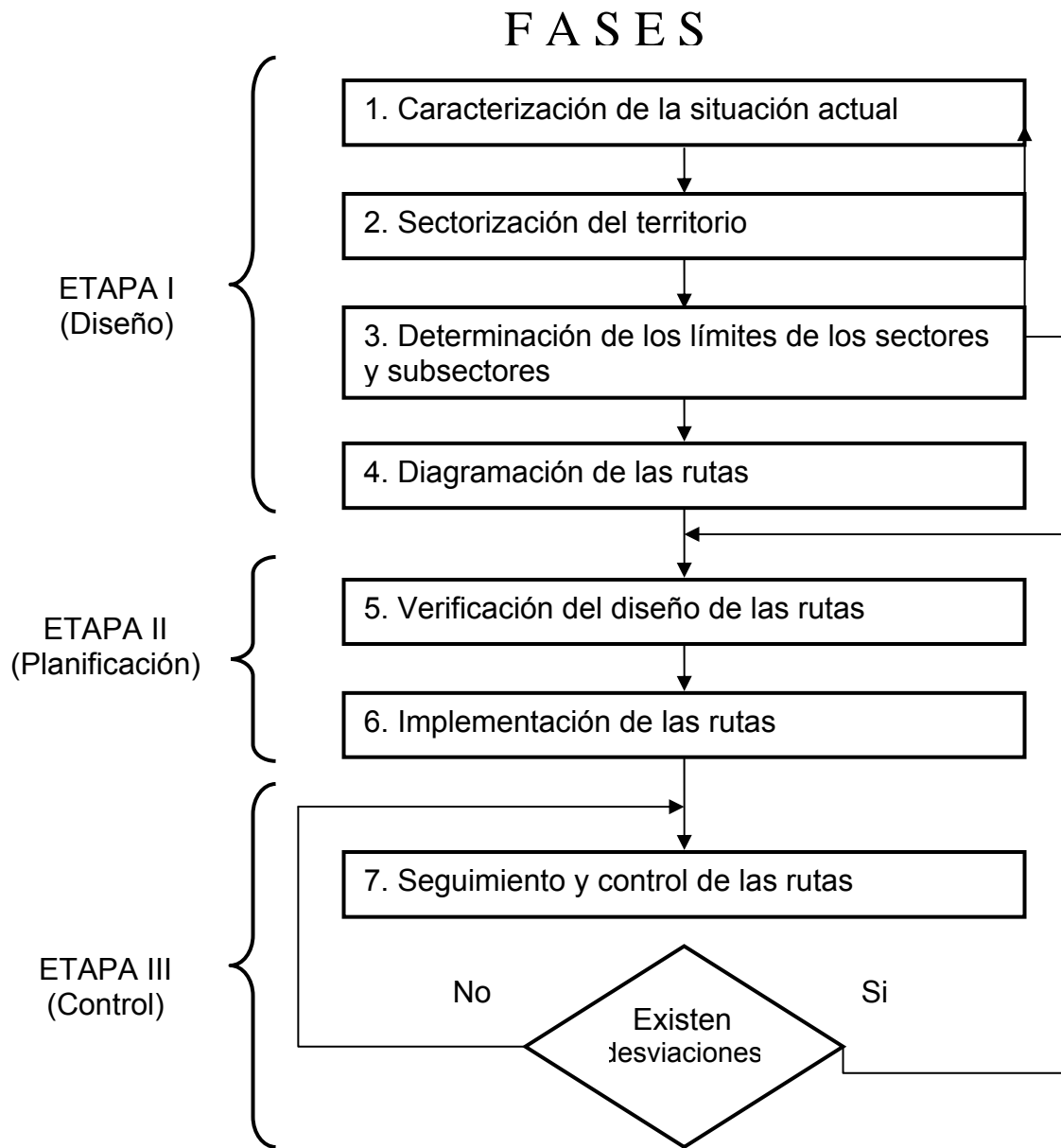


Figura 1.2: Procedimiento general para el diseño y gestión de las rutas de recolección de RSU en la ciudad de Santa Clara[Fuente:Gaitán Mesa;Knudsen González. et al,2006]

El procedimiento cuenta la **premisa** siguiente:

➤ Lograr la integración en un mismo escenario, de las etapas de diseño, planificación y control de las rutas de recolección, a partir de las decisiones estratégicas que se establezcan.

La principal **característica** del procedimiento está dada por su **dinamismo** ya que prevé la asimilación de cambios que se puedan manifestar en las rutas de recolección.

1.3.1 Descripción del procedimiento general y sus procedimientos específicos

Siguiendo las etapas y fases mostradas en la figura 1.2 a continuación se describen las mismas.

Etapas I: Diseño

Fase 1: Caracterización de la situación actual

La caracterización de la situación actual constituye la primera fase del procedimiento, donde se describe de forma general las características de la recolección de residuos en la ciudad permitiendo definir algunas fortalezas y debilidades de su desempeño.

Fase 2: Sectorización del territorio

La sectorización es la segunda fase del diseño de las rutas, la cual consiste en dividir la ciudad en sectores, de manera que cada sector asigne a cada equipo de recolección una cantidad más apropiada de trabajo, utilizando toda su capacidad. Los sectores pueden ser divididos en subsectores, ofreciendo cada uno de ellos un trabajo completo para un viaje de recolección.

Para realizar el trabajo de sectorización se necesitan los datos siguientes:

- Área de cada zona a servir
- Densidad de población de cada zona
- Índice de producción de desechos per cápita (PPC) de cada zona
- Equipo de recolección disponible (número, tipo, tamaño y estado)
- Densidad de desechos en el camión recolector
- Frecuencia de recolección
- Número de viajes factibles de realizar por camión durante la jornada normal de trabajo. Este número dependerá principalmente de los factores siguientes: cantidad de basura en cada punto de recolección, tipo de recipientes, estado de pavimento de calles,

condiciones de tráfico, longitud de rutas, distancia al sitio de relleno sanitario, condiciones mecánicas del camión recolector, entre otros.

Fase 3: Determinación de los límites de los sectores y subsectores

Una vez determinado el tamaño de los sectores y subsectores, se deben determinar los límites de estos, utilizando el mapa de la ciudad. Se recomienda para la determinación de los límites utilizar, dentro de lo posible, las vías arteriales y las barreras topográficas tales como ríos, lagos y vías férreas, con el propósito de evitar pérdidas de tiempo en cruzar estas barreras y vías. Así mismo, esta regla facilitará la identificación de los sectores y subsectores a los chóferes de camiones recolectores.

Fase 4: Diagramación de las rutas.

La diagramación es la cuarta fase del diseño de las rutas y consiste en desarrollar una ruta de recorrido para cada subsector, de manera que permita a cada equipo realizar el trabajo de recolección de RSU con un menor gasto de tiempo y minimizando el recorrido.

Para realizar el trabajo de diagramación se elaboró un procedimiento específico, el cual se muestra en la figura 1.3.

a) Recopilación de la información.

Los datos que se requieren en este análisis son:

1. Lugar del parqueo.
2. Lugar de disposición final de los RSU.
3. Sentidos de circulación de las calles.
4. Hora de mayor congestión de tránsito.
5. Topografía.
6. Vías servibles y vías no servibles.
7. Selección del trazado de las rutas. Según Sakurai [1980] existen dos tipos de trazados:

Peine: recolección de ambos lados de las vías a la misma hora; se recorre solamente una vez por cada vía; es el aplicado en calles de un solo sentido de circulación. El

primer trazo se recomienda en zonas de escasa densidad de población, y por lo mismo extensas.

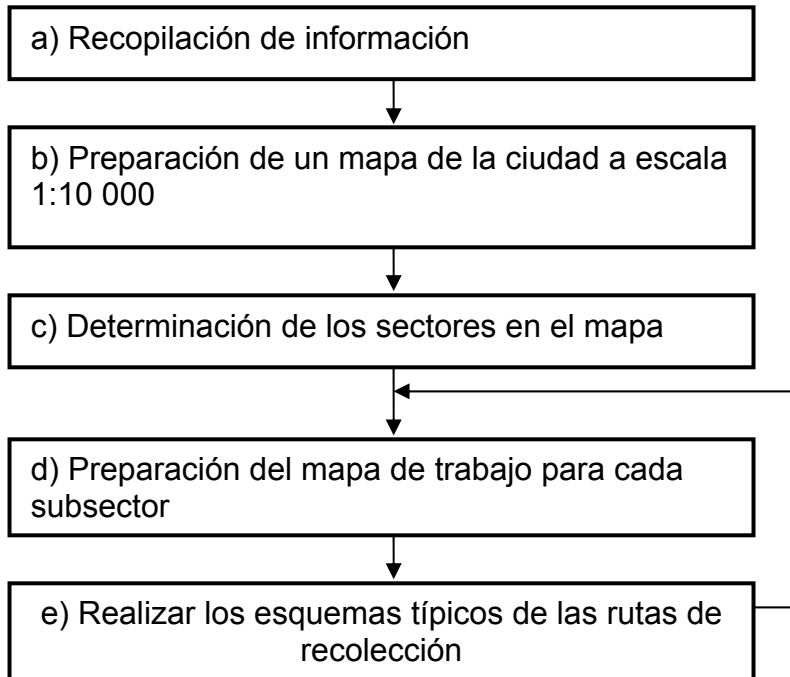


Figura 1.3: Procedimiento específico para diagramación de las principales rutas de recolección de RSU [Fuente: Gaitán Mesa, 2006

Doble peine: recolección de un lado de las vías; se recorre por lo menos dos veces por cada vía. El segundo trazo es recomendable para zonas de alta densidad de población y principalmente en zonas comerciales.

- a. Preparación de un mapa de la ciudad a escala 1 :10 000
- b. Determinación de los sectores en el mapa.
- c. Preparación del mapa de trabajo para cada subsector.
- d. Realizar los esquemas típicos de las rutas de recolección. Utilizando las reglas antes mencionadas y apoyados por las soluciones obtenidas en el *software* utilizado para este problema. Es necesario realizar dos o más ensayos para conseguir las rutas más oportunas. Se pueden obtener varias alternativas de rutas en un mismo subsector, por lo que es necesario verificar y evaluar en los pasos siguientes del procedimiento cual será la mejor ruta a utilizar.

De los métodos expuestos por Gaitán Mesa, 2006 para el diseño de las rutas de recolección la autora de esta investigación propone emplear métodos matemáticos.

Métodos matemáticos

Los métodos determinísticos son los más recomendables, ya que en ellos se pueden involucrar todos los parámetros que inciden en el diseño de las rutas de recolección, además con estos métodos se obtienen rutas óptimas, es decir, rutas en las que a costo y tiempo mínimos se recolecta la máxima cantidad de residuos sólidos posible.

Los dos métodos determinísticos más usados para el diseño de las microrutas son:

Algoritmo del problema del agente viajero, utilizado para diseñar rutas empleando el método de contenedores y el algoritmo del problema del cartero chino, utilizado en el método de recolección por acera.

a) Algoritmo del agente viajero

Es un método muy conocido y utilizado para definir rutas de distribución o recolección. Su característica fundamental está dada en considerar las distancias entre los diferentes puntos a distribuir, estableciendo secuencias de recorrido. Existe una gran cantidad de variantes de este procedimiento, muchas de las cuales pueden considerarse como métodos de optimización, aplicables fundamentalmente cuando no son muchos los puntos a distribuir. Sin embargo, la complejidad de las mismas y la limitación en cuanto al número de puntos, hizo que se desarrollaran toda una gama de procedimientos basados en reglas heurísticas, que si bien no siempre ofrecen un resultado óptimo, si permiten lograr buenos resultados de una manera mucho más rápida [Cespón Castro, R. & Auxiliadora, María. 2003].

El problema lleva ese nombre por la problemática que viven los agentes viajeros, que deben de ir a determinadas ciudades, y hacer el recorrido con un costo mínimo.

Aplicado a la recolección de residuos, se puede establecer: Un vehículo de recolección de residuos, al iniciar el día de trabajo, se propone visitar un número determinado de paradas de recolección, pasando por ellas una vez, recolectando desechos, al costo mínimo. Las calles y vías que puede emplear forman una red y se supone que viajará siguiendo siempre los arcos de dicha red.

Matemáticamente el problema del agente viajero se expresa de la siguiente forma:

Dada una red o un grafo con costos asociados a cada arco, encontrar un circuito (e_1, e_2, \dots, e_n) que visite cada vértice o nodo por lo menos una vez y que minimice la suma de los costos:

$$\sum_{i=1}^n W(e_i).$$

Donde e_i es el arco i y $w(e_i)$ es el costo, distancia o tiempo de utilizarlo

Grafo: es la representación gráfica de la relación entre varios vértices que se encuentran separados uno del otro, también se les puede denominar como redes [SEDESOL. 1997].

El grafo está compuesto por nodos y arcos.

- Los nodos son los puntos principales o vértices, en este caso serían los puntos en donde el camión recolector tiene paradas específicas para que la gente llegue a depositar sus desechos.
- Los arcos son las relaciones que se dan entre dos nodos. En este caso es la ruta que existe para ir de una parada de recolección a otra. Generalmente estos arcos tienen un valor que se identifica con costo, distancia, capacidad de flujo, etc. El grafo con dos arcos no dirigidos es aquel en el que no existe una dirección específica, lo cual significa que puede ir en una dirección o en otra.

Los parámetros de diseño que se utilizarán son los siguientes:

- a) El número de casas dentro de la zona de influencia de cada parada de recolección.
- b) El tiempo estándar para cargar los desechos.
- c) El tiempo que el vehículo debe de permanecer estacionado para recolectar los RSU.
- d) El tiempo para transitar en la ruta y entre dos paradas fijas. Es importante recordar que estos tiempos dependen de la longitud de la ruta, de la topografía de la zona y de la intensidad del tráfico en las calles.
- e) Los tiempos consumidos en transitar del parqueo a la ruta y de ésta al sitio de disposición final. En el primer caso se refiere a cuando la ruta en diseño es la primera o cuando se regresa a la ruta y en el segundo si son rutas subsecuentes.
- f) Los tiempos consumidos para revisión del camión en el sitio del parqueo y en el de descarga de basura (sitio de disposición final).

Se ha puntualizado que el vehículo de recolección debe partir vacío desde su sitio de estacionamiento e iniciar a recolectar residuos en las paradas fijas de recolección y se ha supuesto al vehículo disponible para comenzar la recolección a un tiempo arbitrariamente nulo, la recolección en las paradas debe realizarse en todas ellas sin excepción.

El tiempo necesario del vehículo para llegar de un punto “a” a un punto “b” puede no ser el mismo para ir de “b” a “a”, dependiendo si la calle es de doble sentido o de un solo sentido de circulación o si la calle tiene pendiente, se recorre a favor o en contra de dicha pendiente.

Se supone que todos los tiempos de tránsito en la ruta y de recolección de residuos son conocidos con certeza. En caso contrario deberán hacerse estudios de tiempo y movimiento aplicando las herramientas pertinentes para estos casos.

Deberá localizarse un camino denominado óptimo, en el cual cada parada de recolección sea visitada una sola vez al menos y el tiempo empleado en recorrerlo sea mínimo.

b) Algoritmo del cartero chino

Consiste en encontrar un recorrido a través de una red que representa una zona limitada de un asentamiento humano, pasando por cada calle cuando menos una vez, de tal manera que la distancia recorrida sea mínima.

A diferencia del problema del agente viajero, en el que se requería de ir a todos los nodos o vértices, el problema del cartero chino propone visitar todos los arcos, sin importar cuantas veces se pase por un determinado nodo [SEDESOL. 1997].

Este problema se utiliza cuando el método de recolección exige pasar por todas las calles, a diferencia del problema del agente viajero que se utiliza en recolección por punto fijo y de contenedor estacionario.

El primer paso para determinar una ruta en una red no dirigida es especificar si la red es o no par; una red par es aquella en la que el número de arcos que inciden a todo nodo es par. Si alguno de los nodos tiene un número de arcos incidentes impar, entonces se dice que la red no es par.

En una red par se puede encontrar una ruta por la que se transite una sola vez en cada arco. Dicha ruta se denomina ruta Euleriana o de Euler.

Para la realización del algoritmo de solución, como primer paso se requiere saber si la red es o no par; esto se realiza simplemente contando los arcos que inciden en cada nodo. Si existe un nodo con un número impar de arcos, entonces no existe ruta de Euler. Los nodos con un número impar de arcos incidentes ocurren por pares, ya que cada arco en la red, contribuye con dos unidades a la suma de los grados de todos los nodos, una en cada una de sus nodos terminales. Así, la suma de todos los arcos incidentes es par, pero esta suma contiene sumandos pares e impares (ya sea que el nodo sea par o impar respectivamente). Es por ello que en estos sumandos debe haber un número par de sumandos impares para que la suma total sea par.

En una red par encontrar la ruta de Euler es sencillo: para tal propósito los arcos se dividen en dos conjuntos, aquellos que no han sido usados y el resto (los ya transitados en la ruta). Una ruta se construye transfiriendo arcos del último conjunto al primero. Inicialmente, todos los arcos están en el segundo. Empezando con el origen de la ruta deseada, cualquier arco no usado a este nodo incidente se selecciona. Este arco se convierte en usado; el proceso se repite, encontrando un arco que no ha sido usado en el nodo terminal que une el arco usado y el proceso continúa, hasta que el origen se alcanza.

Si en esta etapa, todos los arcos ya se han usado, entonces la ruta está completa. De otra forma, una o más partes extras deberán agregarse a la ruta; estas partes se encuentran seleccionando un nodo en la ruta que posee un arco incidente no usado.

Este nodo se utiliza como punto inicial para una ruta de arcos no usados y esta miniruta se inserta en la ruta en el punto donde la ruta original visita el nodo seleccionado.

Este proceso continúa hasta que todos los arcos han sido usados.

Describiendo lo anterior en forma de algoritmo, sería lo siguiente:

Propósito: Determinar la ruta de longitud mínima en una red no dirigida, donde todos los nodos tienen grado par.

Descripción: Sea s el origen de la ruta. Etiquete todos los arcos con "no usados". Sea $t=s$ (t representa el último nodo visitado). Sean U y V dos conjuntos vacíos de arcos, que representan la ruta parcialmente completa y la sucesiva mini-ruta respectivamente.

1. Encuentre cualquier arco entre t y q (otro nodo) que no ha sido usado. Úselo y agréguelo a U . Haga $t=q$.

2. Si t es igual a s , haga el paso 3; de otra manera regrese al paso 1.

3. Inserte U en V , en el punto V donde s se toca por primera vez; U se convierte en vacío. Encuentre un nodo t visitado en V , pero que tiene arcos incidentes no usados. Si no existe este nodo, entonces pare, la ruta está completa; de otra forma, sea $s=t$ y regrese al paso 1.

Cuando tenemos una red que no es par, entonces algunos arcos deben transitarse más de una vez. El objetivo es seleccionar aquellos que hagan la distancia total recorrida mínima. La longitud de la ruta es la longitud de los arcos que se repiten, más la longitud total (costo fijo) de todos los arcos de la red.

Para encontrar el mejor de estos conjuntos, se pone primero la atención en los nodos de orden impar. Puesto que cada visita a un nodo requiere el uso de dos arcos es evidente que al menos uno de los arcos que terminan en un nodo impar deberá usarse dos veces. De modo que la primera parte del método consiste en encontrar todos los nodos de orden impar y entonces encontrar la distancia más corta entre ellos.

Para completar la ruta Euleriana se deberán incluir las trayectorias entre los nodos impares. Estos nodos deberán estar aparejados, esto es, deberá especificarse que pares de nodos impares se conectan por medio de una trayectoria, de tal manera que la distancia total de los aparejamientos sea mínima. Si existen únicamente dos nodos impares, se tiene un único y posible aparejamiento. Sin embargo, si hay cuatro nodos impares, digamos a, b, c, d , existen tres posibles aparejamientos $((a, b), (c, d)); (a, c), (b, d); (a, d), (b, c))$; si hay seis nodos impares, entonces hay quince posibles aparejamientos. Una vez que se encuentra el aparejamiento óptimo, las trayectorias correspondientes se agregan a la red original, convirtiéndola en una red par y se encuentra, en esta red extendida, una ruta de Euler.

La elección de uso de los métodos descritos anteriormente, depende en gran medida de las características del trabajo a realizar y de las herramientas de las que se disponga. Todos los métodos son igualmente válidos, ofreciendo soluciones en todos los casos, pero claro, esta utilización de los métodos matemáticos ofrecen una respuesta en menor tiempo y con una mayor precisión. Además se obtienen variadas alternativas, posibilitando a la vez, la elección de la más óptima, aunque siempre es necesario aplicar

las reglas para el diseño de rutas, los métodos matemáticos permiten diseñar y gestionar con menos trabajo las rutas de recolección para los residuos sólidos urbanos.

Etapa II: Planificación

La planificación da continuidad a la primera etapa del procedimiento general mostrado en la figura 1.2. En esta se incluyen como fases, la verificación del diseño de las principales rutas y su implementación. Estas fases serán descritas a continuación.

Fase 5: Verificación del diseño de las rutas

Para la verificación de las rutas esquematizadas se recomienda seguir el procedimiento que se muestra en la figura 1.4. Los pasos a seguir son:

- a) ***Cuantificar la longitud del recorrido por kilómetros de cada ruta.*** Comprobar que la distancia de cada ruta sea equivalente en kilómetros con la distancia a recorrer en las otras rutas del subsector y de los otros sectores.
- b) ***Constatar la vialidad (sentidos de circulación).*** Verificar que el recorrido que sigue la ruta diseñada, respeta las normas de tránsito establecidas en la zona en especial los sentidos viales de circulación de los vehículos.
- c) ***Comprobar la transitabilidad de las calles en cualquier época del año.*** Confirmar que las calles y carreras a recorrer por el vehículo recolector no presentaran cambios de sentido en determinado momento del día o del año, por disposición de las autoridades competentes.
- d) ***Notificar si dentro de la ruta propuesta existen manzanas deshabitadas y consecuentemente no necesitan servicio de limpieza***
- e) ***Recopilar los problemas de circulación, obstrucción por vehículos estacionados, calles con fuertes pendientes, etc***
- f) ***Describir la ruta de recolección ya verificada para cada zona***

Fase 6: Implementación de las rutas

Para poder garantizar el funcionamiento estable y coordinado de las principales rutas de recolección se debe elaborar un programa de implementación. En el mismo se deben detallar todas las actividades a ejecutar antes y durante el funcionamiento de las principales rutas verificadas.

Las actividades que incluye el programa de implementación y el responsable de su ejecución se muestran en la tabla 1.1

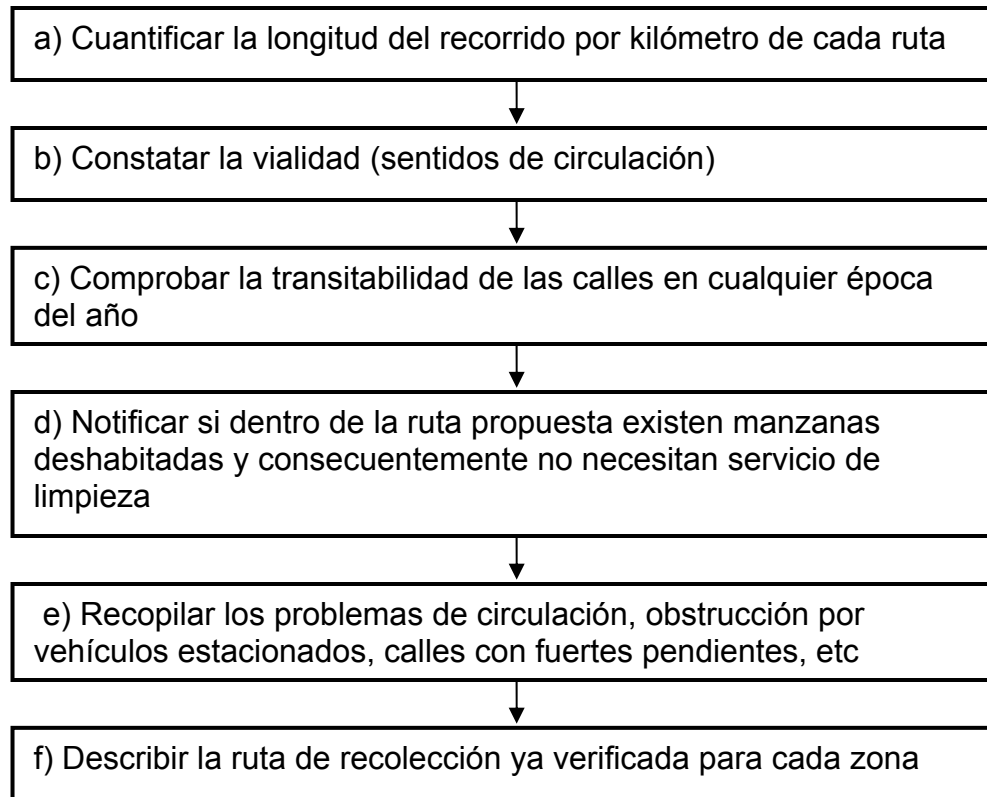


Figura:1.4 Procedimiento específico para la verificación del diseño de las rutas
[Fuente: Gaitán Mesa, 2006]

Tabla 1.1: Contenido de las actividades que debe incluir el programa de implementación

Actividad	Contenido
1. Adiestramiento del personal que presta el servicio.	Explicar los símbolos de los esquemas de las principales rutas de recolección verificadas. Estos son: comienzo de ruta, dirección del recorrido, recorrido en servicio, recorrido en tránsito, fin de ruta, paradas fijas, horarios (inicio de jornada, hora de almuerzo, etc.). Asimismo, las actividades complementarias entre las que sobresalen: forma de operar el sistema compactador del camión recolector, procedimientos de carga y descarga según el tipo de vehículo.
2. Información a los clientes.	Consiste en describirles a los clientes las informaciones relacionadas con el servicio de recolección en las cuales ellos tienen una decisiva participación. Entre otras los clientes debe conocer: hora de inicio de los recorridos, calles que abarca cada ruta, etc.

[Fuente: Gaitán Mesa, 2006]

Es importante destacar que en dependencia de la zona analizada puede que se necesite informar por separado a los clientes empresarios y a los clientes población. Para esta actividad se recomienda el empleo de los medios masivos de información (prensa escrita, radio o televisión).

Etapas III: Control

Fase 7: Seguimiento y control de las principales rutas

En esta etapa se le da el seguimiento requerido a las principales rutas comprobando todos los indicadores establecidos para el control en cada uno de los procesos logísticos de la cadena y en la ruta de recolección en particular. Si no existen

desviaciones al controlar los indicadores entonces la ruta sigue funcionando de forma estable y coordinada. En caso de que se detecte alguna desviación se seguiría la retroalimentación prevista en la figura 1.2, la cual establece la posibilidad de verificar el diseño de la ruta haciendo los cambios pertinentes o caracterizando la situación actual ante cualquier cambio que se haya producido.

1.4 Conclusiones parciales

1. En la literatura científica consultada existen diferentes procedimientos para el manejo de los RSU, el cual abarca desde el reciclaje en los hogares, hasta su destino final en los vertederos o incineradores. Estos procedimientos para el diseño y la gestión de rutas para la recolección de RSU no se ajustan en toda su magnitud a las particularidades que requiere el objeto de estudio de la presente investigación, por lo que se propone utilizar el procedimiento general para el diseño y la gestión de rutas para la recolección de RSU en la ciudad de Santa Clara [Fuente:Gaitán Mesa,2006].
2. La gestión adecuada de los RSU no solo incluye su recolección y transporte ya sea de forma selectiva o general, sino que también requiere de las llamadas plantas de selección o transferencia, las cuales facilitan el reciclaje de RSU que puedan ser reutilizados por el hombre.

Capitulo II.

APÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

El objetivo fundamental de este capítulo es mostrar la situación actual de las empresas de servicios comunales de la provincia y del servicio de recolección de RSU que estas realizan.

2.1 Situación actual de la Dirección Provincial de Servicios Comunales en Villa Clara

La Dirección Provincial de Servicios Comunales en Villa clara, surge como tal luego de ser aprobada por la Resolución No. 424 del 8 de Noviembre de 1989, por el Ministerio de Economía y Planificación, subordinada a la Asamblea Provincial del Poder Popular de Villa Clara, surgida de la segregación de la Empresa de Viveros y Floricultura.

La misma comienza a trabajar como Dirección Provincial, con personalidad jurídica independiente y patrimonio propio, subordinada a la Asamblea Provincial del Poder Popular Villa Clara y se le subordina metodológicamente los 13 municipios de la provincia a partir del 1989.

La Dirección Provincial, así como las Direcciones Municipales de Servicios Comunales, subordinadas a los Consejos de Administración del Poder Popular en la Provincia tienen como **misión** los aspectos siguientes:

- ▶ Encargados de atender los programas de higienización.
- ▶ Velar por el cumplimiento de los Servicios Necrológicos y comentáries.
- ▶ Lograr el adecuado fomento y mantenimiento de las áreas verdes.
- ▶ Mantener la atención al mobiliario urbano y el desarrollo de la floricultura.
- ▶ Velar por el mantenimiento y control de los parques, parques infantiles y micro parques, así como el mantenimiento y preservación de tarjas y monumentos.
- ▶ Fiscalizar y controlar las inversiones.
- ▶ Atender correctamente a la población para contribuir al bienestar y salud de los ciudadanos cumpliendo la política del Estado y el Gobierno sin dejar de proteger y potenciar los recursos humanos, materiales y financieros.
- ▶ Preparar correctamente a los cuadros y reserva con vistas a lograr mayor eficacia en el resultado de su gestión.

- ▶ Cumplir y hacer que se cumpla con las tareas colaterales para que el organismo mantenga buena situación ante la sociedad.

De todos estos aspectos la presente investigación se centra dentro de los programas de higienización, donde se incluyen las rutas de recolección de RSU en la ciudad.

En su estructura organizativa la entidad tiene tres departamentos: higiene y necrología, áreas verdes y floricultura. Es importante aclarar, que cada departamento tiene diferentes secciones, Para la presente investigación el departamento de interés es el primero de los mencionados anteriormente y dentro de este la sección de higiene. Entre las funciones que tiene esta sección se destacan las siguientes:

1. Barrido de calles.
2. Limpieza de calles con baldeo.
- 3.. Saneamiento de cañada a cielo abierto
4. Atención a supiaderos y vertederos.
5. Recogida, transportación y disposición final de los desechos sólidos

Precisamente esta última será el objeto de estudio fundamental de la presente investigación.

Para materializar las funciones mencionadas anteriormente se establecen como objetivos de trabajo para el año 2007 los siguientes:

- Continuar desarrollando la segunda etapa en la construcción de los Rellenos Sanitarios Manual (RSM).
- Realizar estudios de caracterización física de los Residuos Sólidos en aquellas comunidades donde aún falten.
- Realizar estudios de caracterización química en los territorios de: Ciudad Habana, Villa Clara y Santiago de Cuba.
- Actualizar el Plan Director de Residuos Sólidos en aspectos de mayor significación de cada territorio.
- Mantener el asesoramiento metodológico a la actividad de inspección de Higiene Comunal y Ambiental de la nueva dirección de inspección.

A continuación solo se comentarán las acciones derivadas de estos objetivos que directa o indirectamente se relacionan con la presente investigación.

➤ **Continuar desarrollando la segunda etapa en la construcción de los Rellenos Sanitarios Manual (RSM).**

La provincia tiene todos los Rellenos Sanitarios Manuales construidos y en explotación, los cuales cumplen con las condiciones técnico-ambientales para su buen funcionamiento y un correcto sistema de operación caracterizado en sus diseños por el uso de trincheras y el cubrimiento sistemático de los Desechos Sólidos Urbanos con material de cobertura, garantizándose la higienización en estas instalaciones desde el punto de vista medio ambiental , la protección de sus trabajadores y el aseo personal. Esta actividad también incluye el tratamiento de los Residuos Sólidos en los Bateyes Azucareros como parte de tarea Álvaro Reinoso

La entidad en el territorio ha incrementado su fuerza laboral para prestar el servicio de recogida y transportación de los residuos sólidos en todas las instalaciones de la infraestructura hotelera y extrahotelera de apoyo al turismo en la Cayería Noreste de Villa Clara y dispone de personal calificado que realiza la actividad de la disposición final de los Residuos Sólidos por el método de Relleno Sanitario Manual en trincheras impermeabilizadas, evitando así la contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas y realiza el tapado diario de los desechos con una capa de material de cobertura de 0.15 m de espesor . Esta instalación es motivo de visitas periódicas por los especialistas del CITMA y de Planificación Física para dar seguimiento al plan de monitoreo y evitar los impactos negativos al entorno ambiental con resultados satisfactorios.

➤ **Realizar estudios de caracterización física de los Residuos Sólidos en aquellas comunidades donde aun falten.**

Dando cumplimiento a los objetivos trazados en el Plan Director de los Municipios, este año ha sido de vital importancia realizar el completamiento de los estudios de caracterización física de los Residuos Sólidos Urbanos en comunidades y poblados, lo que ha posibilitado hacer el análisis comparativos de cada lugar en época de sequía y de lluvia sobre la composición física de los mismos y la relación en el comportamiento de los desechos orgánicos e inorgánicos presente en los residuos.

En los vertederos de relleno sanitario de las cabeceras municipales de Santa Clara, Quemado, Placetas y Sagua se ha continuado el trabajo de actualización de los

estudios de generación y caracterización física de los Residuos Sólidos Urbanos en estas dos etapas de año en colaboración con la Empresa Nacional de Investigaciones del territorio. Los planes de monitoreo de estos sitios confirman que la calidad del aire, el viento, el agua, el suelo, la flora y la fauna siguen cumpliendo con los requerimientos técnicos e higiénico- sanitarios en el proceso de explotación de estas instalaciones.

➤ **Actualizar el Plan Director de Residuos Sólidos en aspectos de mayor significación de cada territorio.**

La actualización del Plan Director de Residuos Sólidos de la provincia y de los municipios en los aspectos de mayor significación, por haberse logrado el cumplimiento de los objetivos de trabajo trazados a corto y mediano plazo, se enriqueció con nuevas estrategias hasta el año 2010, que posibilitan que esta actividad se realice con un enfoque visual y conceptual más integrador en el sector de los Servicios Comunes.

Entre los aspectos actualizados se destacan:

- ✓ Elaborar proyectos de colaboración de RSU para el municipio de Santa Clara por etapas que den respuesta a las deficiencias específicas existentes-segregación inicial, útiles y herramientas de trabajo y transporte automotor.
- ✓ Realizar inversiones a corto, mediano y largo plazo para lograr una cobertura adecuada en el servicio de la disposición final de los RSU.
- ✓ Lograr que las diferentes etapas del manejo de los RSU estén a cargo del personal capacitado para cada una de las diferentes actividades, sobre todo la disposición final debe estar a cargo de especialistas en el tema.
- ✓ Poner en marcha el programa del grupo multidisciplinario para el manejo de los residuos sólidos peligrosos de origen hospitalario.
- ✓ Coordinar con el resto de las instituciones involucradas en la temática los sistemas de gestión ambiental de RSU, cumpliendo las funciones y condiciones establecidas para cada institución.
- ✓ Incrementar la fiscalización del cumplimiento de las legislaciones vigentes sobre el manejo de los RSU.
- ✓ Garantizar un sistema de comunicación moderno y confiable entre las Direcciones Municipales y la dirección provincial.

Los planes de trabajo se irán confeccionando anualmente de acuerdo a las tareas planteadas detallando las actividades. Los proyectos se confeccionarán teniendo en cuenta las prioridades que surjan.

Mantener el asesoramiento metodológico a la actividad de inspección de Higiene Comunal y Ambiental de la nueva dirección de inspección.

En el año 2006 se capacitó a todos los inspectores vinculados a la temática de Higiene Comunal y Ambiental que forman parte del Grupo de Inspectores Integrales del Gobierno en la provincia, teniendo como objetivo reforzar el proceso de fiscalización en el cumplimiento de las normativas vigentes para rescatar y renovar la importancia de la autoridad sanitaria en la vigilancia de la calidad en la prestación de los servicios de recolección y disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos.

El seguimiento de esta importante actividad por las autoridades del gobierno y su constante apoyo al sector comunal ha posibilitado la formación integral de estos técnicos en los municipios del territorio.

Se ha mantenido el seguimiento sobre el tema de inspección en los Departamentos de Higiene Comunal en los municipios, lográndose la capacitación y superación de nuestros técnicos.

Se aplican las temáticas seleccionadas en coordinación con los organismos que inciden en esta actividad, la selección del personal y los seminarios impartidos, así como los cursos de inspectores integrales aplicando las orientaciones recibidas del MEP.

Se fortaleció el trabajo desarrollado en el tema de Residuos Sólidos Urbanos para la conservación del entorno ambiental y para el cuidado y preservación del mobiliario urbano en nuestras ciudades.

2.2 Caracterización del Servicio de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad Santa Clara

La ciudad Santa Clara posee una población de 225.412 habitantes, que generan 0,614 Kg. de RSU por habitante cada día, lo que equivale como mínimo a 126.7 t/día según el informe de OMS/OPS [2002]. Para facilitar el servicio de recolección de RSU la ciudad se ha dividido en nueve zonas. Para esto se tomará como criterio el número de

habitantes y la cantidad de RSU que se generan en sus límites. En cada zona se realiza la recolección con una frecuencia de cuatro veces por semana, exceptuando la zona central, comercial, zonas de edificios de apartamentos e instituciones hospitalarias, a las cuales se les presta el servicio diariamente en jornada diurna y nocturna. Actualmente el parque automotor que tiene la Dirección Provincial de Servicios Comunes para el transporte de los RSU es insuficiente (ver *tabla 2.1*). Si a esto se le añade la poca disponibilidad de combustible para desempeñar la actividad y la falta de piezas de repuesto, se evidencia un bajo nivel de servicio al cliente ya que se produce incumplimiento en el servicio y se disminuye la frecuencia de recolección hasta dos veces por semana en algunas zonas. Esto también depende de la asignación de vehículos para la recolección. Estos vehículos salen a las seis de la mañana a cargar el combustible en cualquiera de las estaciones de servicio que tenga disponibilidad del mismo y se dirigen, inmediatamente, a realizar su respectivo recorrido en la zona asignada anteriormente por el Jefe de Transporte.

Los vehículos utilizados son: vehículos compactadores de carga trasera en los cuales la carga de desechos se hace a través de una tolva que se encuentra ubicada en la parte posterior de la carrocería. Sus principales ventajas son que la altura de carga es baja, que los operarios no tienen acceso a los residuos para manipularla una vez que el mecanismo compactador de carga se ha hecho funcionar y podrían atender contenedores pequeños en su ruta de recolección, pero ahora no se cuentan con ellos. Otro vehículo es el de tipo volteo, los cuales cuentan con extensiones para alimentar su capacidad volumétrica y aprovechar la gran capacidad de soporte de carga del chasis.

Es importante aclarar, que todos los vehículos consumen combustible diesel. Sus normas de consumo pueden también observarse en la *tabla 2.1*.

Tabla 2.1: Vehículos disponibles para el servicio de recolección de RSU.

Tipo de Vehículo	Marca y Modelo	Cantidad	Capacidad (m³)	Observaciones	Consumo Combustible km./litro De diesel
Camión compactador	Pegazo	2	27	Uno esta fuera de servicio.	5.
Camión compactador	Fiat Iveco	1	30		5.
Camión compactador	Chino	2	28		4
Camión	ZIL - 130	1	4	Camión plataforma con volteo	2,5.
Camión	Skoda	1	4	Camión plataforma con volteo	2,5.
Tractor	Yunz-6M	3	-		4
Carreta	Yunz-6M	2	6		

[Fuente: Elaboración Propia]

Las principales ventajas son: su bajo costo comparado con un camión más tecnificado y que la descarga por volteo es mucho más rápida que cuando se tienen cajas fijas.

Las desventajas son: la altura de carga es muy elevada, el acomodo de la basura dentro de la caja es manual, se requiere de un empleado adicional en la cuadrilla de trabajo. Así mismo al adicionarle a la caja volumen hacia arriba, se corre el riesgo de elevar el centro de gravedad por encima de las especificaciones de diseño de los vehículos.

Otros tipos de equipos de recolección, incluyen los no convencionales, como serían los vehículos de arrastre manual o de animales (carretones) y la recolección por medio de vehículos motorizados pequeños (carretas llevadas por tractores), los cuales se utiliza en sitios muy específicos, en donde la cantidad de basura recolectada no justifica la utilización de equipos grandes.

Actualmente se utilizan; el método de parada fija en la zona de apartamentos, zona comercial y hospitalaria y aquellas que por sus características facilitan la recolección en varias paradas; y el método de acera en los barrios residenciales principalmente.

La gestión de las rutas de recolección, exceptuando la ruta 9, llevan varios años de explotación y no se han actualizado a pesar del crecimiento de la ciudad y del aumento de la generación de RSU. Esto implica un bajo desempeño y falta de coordinación en sus procesos logísticos que provocan deficientes resultados económicos y productivos para la empresa.

Del planteamiento anterior se exceptúa la ruta 9 de la ciudad de Santa Clara debido a que fue diseñada y gestionada con el procedimiento elaborado por Gaitán Mesa (2006) en su investigación. En la tabla 2.2 se muestran los principales resultados obtenidos por dicho autor.

Tabla 2.2: Resumen de algunos resultados obtenidos a partir de la aplicación del procedimiento general

Indicador	Antes	Después
Distancia recorrida (km)	14.62	12.82
Tiempo de recorrido (h)	5	4,5
Consumo de combustible (l)	27	26
Cantidad de recolecciones realizadas en un mes.	10	12
Nivel de servicio al cliente (%)	66.67	80

[Fuente: Gaitán Mesa,2006]

Como se aprecia en dicha tabla se mejoró la gestión económica de la organización con un ahorro diario de 1 litro, lo cual implica anualmente 312 litros de combustible diesel.

2.3 Conclusiones parciales

1. La situación actual de las principales rutas para la recolección de RSU en Santa Clara tienen un bajo desempeño, dado entre otros aspectos por la ausencia de un diseño y gestión técnicamente fundamentado que permita coordinación, estabilidad y mejores resultados económicos y productivos para la empresa

encargada de este servicio. Es importante aclarar que hasta el momento solo existe un diseño y gestión técnicamente fundamentado en una ruta de recolección, Esto corrobora la correcta formulación del problema científico que dio origen a la presente investigación.

2. A pesar de que el servicio de recolección, transporte y disposición final de los RSU es una función del Departamento de Higiene y Necrología, y en particular de la sección de Higiene, no queda muy explícito el mismo dentro de los objetivos de trabajo que para este año se propone la institución. No obstante al observar las acciones derivadas de estos objetivos si se aprecia la necesidad de introducir la ciencia y la técnica en la toma de decisiones relacionadas con el servicio de recolección y la necesidad de capacitar a sus cuadros y obreros.
3. Al observar los resultados obtenidos en la ruta de recolección diseñada con ayuda del procedimiento general elaborado por Gaitán Mesa(2006) se demuestra la necesidad de generalizar el mismo al resto de las rutas de recolección de la ciudad.

Capitulo III.



CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL DISEÑO Y LA GESTIÓN DE LAS PRINCIPALES RUTAS PARA LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN SANTA CLARA.

El objetivo fundamental de este capítulo es generalizar el procedimiento en las principales rutas para la recolección de RSU en la ciudad Santa Clara. Para lograr esto se parte del instrumento metodológico desarrollado, para diseñar y gestionar las rutas de recolección de RSU por Gaitán Mesa(2006).

3.1 Resultados de la generalización del procedimiento general a las principales rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en Santa Clara.

Es importante aclarar, que la generalización del procedimiento sólo se hará en las principales rutas de recolección de la ciudad las cuales coinciden con las zonas 1 y 5. Para poder cumplimentar este epígrafe se tomarán como base los aspectos tratados en el *epígrafe* 1.3.1 del *capítulo* 1, los cuales se corresponden con la *figura* 1.2

Etapas I: Diseño

Fase 1: Caracterización de la situación actual

Los procesos logísticos más importantes son:

- ❖ Recolección,
- ❖ Transporte
- ❖ Disposición final

Los lugares dentro de la red logística donde ocurren estos procesos y sus actividades radican en la ciudad Santa Clara y en el vertedero municipal de la misma ciudad. En la *figura* 3.1 se muestran los mismos.

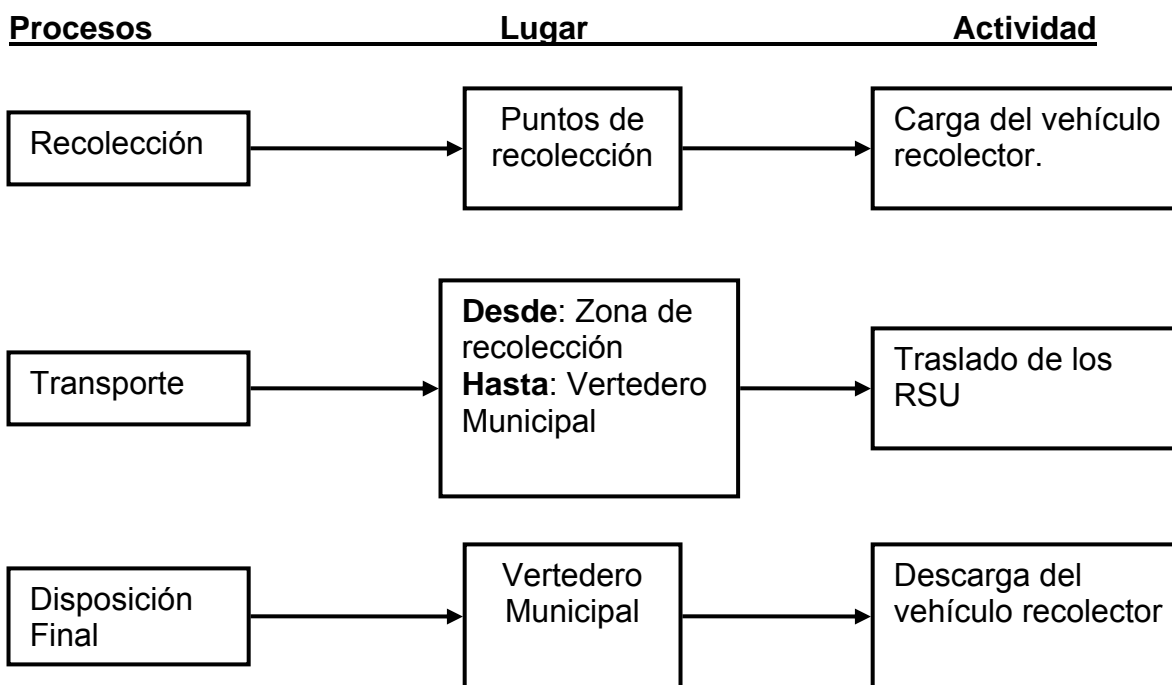


Figura 3.1: Principales procesos, lugares y actividades que se desarrollan en las principales rutas de recolección de RSU [Fuente: Elaboración propia]

En la *tabla 3.1* se detallan los principales procesos con la misión y sus operaciones para la recolección de RSU.

Tabla 3.1: Principales procesos con la misión y sus operaciones para la recolección de RSU

Proceso	Misión	Operaciones
Recolección de los RSU.	Recolectar los RSU en el menor tiempo posible	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de RSU. • Estiba a los medios de transporte de los RSU.
Transporte de los RSU.	Trasladar los RSU aprovechando al máximo las capacidades, minimizando el consumo de combustible y el tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> • Traslado hasta el vertedero municipal
Disposición final de los RSU.	Depositar los RSU recolectados en el vertedero municipal.	<ul style="list-style-type: none"> • Desestiba de los medios de transporte

[Fuente: Elaboración propia]

La integración de estos procesos tiene como **misión** contribuir a mejorar la gestión económica de la organización ahorrando combustibles fósiles, elevando su desempeño y el nivel de servicio al cliente.

Situación actual de las rutas para la recolección de los residuos sólidos urbanos en la ciudad Santa Clara.

La recogida de los residuos sólidos urbanos en la zona uno y zona cinco de la ciudad Santa Clara se realiza todos los días. La ciudad esta dividida en nueve zonas de recolección que facilitan la recogida y el transporte de los desechos. En la actualidad la Dirección Municipal de Servicios Comunes encargada del correcto manejo de los RSU tiene a su disposición cinco vehículos especializados para desempeñar de forma adecuada esta actividad. Para atenuar esta deficiencia, la empresa contrata a la Empresa de Transporte del MINAZ vehículos de carga para esta actividad, aunque los mismos no cumplen con las especificaciones requeridas contribuyen a solucionar el problema.

En la zona seis la recolección de RSU se realiza con carretas de tracción animal, las cuales trasladan su carga (2 m³ de capacidad) hasta el vertedero "Vegas Nuevas" a una distancia del núcleo de la población de 800 m aproximadamente. La zona cinco se limpia con carretas de tracción animal en algunos lugares y con camiones el resto de la zona, en las demás zonas toda la actividad se realiza con camiones pero esto está en dependencia del número de camiones disponibles cada día.

Los vehículos de la empresa se estacionan en el Taller "26 de julio" donde mismo reciben mantenimiento y los contratados también vienen hasta este sitio para que el jefe de transporte los asigne de acuerdo a las necesidades de la ciudad, priorizando la zona uno (centro de la ciudad, área de tiendas y mercados) y la zona cinco (hospitales), lo ideal es ocho camiones para cubrir la totalidad de la ciudad pero no siempre se dispone de esa cantidad y quedan zonas sin atender con la frecuencia necesaria para un servicio que satisfaga las expectativas de los clientes.

Es evidente como debilidad la falta de organización en el diseño y planificación de las rutas que durante años se recorren sin evaluación y sin mejora. El recorrido se deja a cargo del conductor quien ya conoce la zona y crea las rutas sin un análisis previo que garantice minimizar costos y maximizar el servicio. Al llegar al vertedero municipal

ubicado aproximadamente a 3.5 km de la circunvalación se le controla la llegada y el número de viajes.

Durante la recolección de RSU no se cumple con las normas ambientales establecidas pues no existen recursos para cubrir con lonas todos los camiones contratados y evitar la salida de los RSU y propagación de malos olores durante el recorrido por la ciudad.

No se realiza la recolección y transporte de RSU en jornada nocturna por la falta de iluminación adecuada en varias zonas de trabajo, exceptuando la zona uno a la cual se le realizan recorridos nocturnos diariamente.

En resumen las principales insuficiencias, en la dirección municipal de servicios comunales de la ciudad Santa Clara son:

- No existe un estudio de las rutas de recolección de RSU que permita trazar estrategias de trabajo para elevar el nivel de servicio al cliente (NSC) y mejorar los indicadores de eficiencia.
- Falta de medios de transporte propios para garantizar la frecuencia de recorridos.
- Falta de piezas de repuestos para el mantenimiento y reparación de los vehículos especializados.

Para medir el **NSC** se referencia las ocasiones en que no se cumple con la recolección de los desechos de acuerdo a lo estipulado para cada zona.

Esta estipulado que se realice la recolección todos los días de cada semana en la zona uno y en la zona cinco.

En la zona uno se garantiza que no existan fallos por la importancia de mantener la limpieza en toda el área central de la ciudad.

La zona cinco también es atendida con prioridad pues incluye el área hospitalaria que requiere de un cuidado especial.

Se reconoce por la dirección de la empresa que estas dos zonas representan la prioridad de cada día, sin embargo la zona cinco se ve afectada si el vehículo asignado presenta fallos mecánicos en el momento de realizar el recorrido.

De esta manera los clientes se ven obligados a acumular una mayor cantidad de desechos en sus hogares o a dejarlos al frente de su casas, presentando el inconveniente de que animales domésticos y no domésticos dispersen los residuos al

buscar con que alimentarse, ocasionando un mal aspecto y malos olores en el lugar. Esto es precisamente lo que provoca un deterioro del NSC en la ruta de recolección.

Con la **gestión ambiental** se procederá de forma similar, al presentarse el mismo caso en los puntos de recolección de los sectores de edificios, que a pesar de quedar separados de las edificaciones, estas acumulaciones de desechos contribuyen a contaminar el medio ambiente y el entorno.

Para medir la **gestión económica** de la empresa se calcula el gasto de combustible diario, dependiendo de la cantidad de km. recorridos y del tiempo consumido en recorrerlos.

En la *tabla 3.2* se muestran los resultados obtenidos luego de un período de 30 días de estudio.

Tabla 3.2: Desempeño actual de las principales rutas de recolección antes de aplicar el procedimiento

	Criterios	Factores	Comportamiento
Zona 1	Nivel de servicio al cliente	Recolección oportuna de los desechos	De 30 recolecciones, se realizaron 29. 96.67 %
	Gestión ambiental	Afectación ambiental	29 recolecciones
	Gestión económica	Consumo de combustible	52 litros de diesel diarios.
Zona 5	Nivel de servicio al cliente	Recolección oportuna de los desechos	De 30 recolecciones, se realizaron 28. 93.33%
	Gestión ambiental	Afectación ambiental	28 recolecciones
	Gestión económica	Consumo de combustible	50 litros de diesel diarios por vehículo.

[Fuente: Elaboración propia]

Fase 2: Sectorización del territorio

Esta fase no se aborda en la presente investigación, ya que se consideró pertinente trabajar con los sectores de cada zona establecidos por la empresa, pero se recomienda que se actualicen los datos de cada sector, considerando el crecimiento de la población, y por ende la generación de residuos per cápita. Esto evidentemente contribuirá a mejorar la calidad del servicio prestado y elevará el nivel del servicio al cliente, también esto permitirá determinar la carga de trabajo y balancear la misma en función de la capacidad de los medios de transporte.

La ciudad Santa Clara se encuentra dividida en nueve zonas (sectores), para facilitar la recolección de RSU, la presente investigación tiene como objeto de estudio la zona uno, que cubre desde la Carretera Central hasta Ferro Carril con los límites del río Cubanicay y río Bélico utilizándose en esta zona dos camiones Chinos con capacidad de 28 m³ y con una frecuencia de recolección diaria, realizando un viaje al Vertedero Municipal durante la jornada laboral de trabajo.

La zona cinco cubre desde Circunvalación hasta la Carretera Central con los límites del río Bélico y el río Cubanicay. Se dispone en esta zona de dos camiones, uno de volteo, que puede ser el primero que se encuentre a disposición y un camión compactador especializado Chino, con capacidad de 28 m³ y una frecuencia de recolección diaria, realizando un viaje al Vertedero Municipal durante la jornada laboral de trabajo.

Fase 3: Determinación de los límites de los sectores y subsectores

Utilizando el mapa de la ciudad se verifica que los límites actuales de las nueve zonas concuerdan con los estipulados por la empresa al igual que las rutas con el recorrido realizado por los camiones recolectores en la zonas objeto de estudio (zona 1 y zona 5), como se ilustra en el *anexo 2* y *anexo 3*, comprobando que no se presentan problemas en este aspecto y que los límites de los sectores son conocidos por parte del personal encargado de la recolección de RSU en la zona, la deficiencia se presentó al analizar el recorrido esquematizado y se constató que es posible mejorar el mismo, proponiendo una nueva ruta ilustrada en el *anexo 12* y *13*.

Fase 4: Diagramación de las rutas

Siguiendo los pasos del procedimiento específico, expuesto en la *figura 1.3* del *capítulo 1* se tiene que:

a) Se inicia con la **recopilación de la información**, provista por la dirección provincial de servicios comunales, con datos generales sobre el manejo de los residuos sólidos en la ciudad Santa Clara, los cuales incluyen normas internacionales y nacionales para el almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de los mismos (resaltando que estas normas se acatan en todos los aspectos tratados en esta investigación), información suministrada por la Dirección Municipal de Servicio Comunales, proporcionando datos específicos del parque automotor con el que cuenta la empresa para poder satisfacer las necesidades de la población en general, los cuales se resumen en la *tabla 2.3*

La ubicación del Taller 26 de Julio, lugar del parqueo de los vehículos recolectores se encuentra a una distancia de 3 km. de la zona uno y a 1 km de la zona 5, las vías en general son planas y con pendientes menores al 10%, todas las vías son aptas para realizar la recolección con el trazado de peine, que consiste en recolectar ambos lados de las vías a la misma hora; se recorre solamente una vez por cada vía y es el aplicado en calles de un solo sentido de circulación, tanto en la zona uno como la zona cinco se asignan 60 l de diesel diariamente, 30 l por vehículo para realizar la totalidad del recorrido, con un costo de 0.50 de CUC el litro.

b) Luego **se prepara el mapa de la ciudad**, el cual se encuentra a disposición en la Dirección Municipal de Servicios Comunales y cumple con las condiciones básicas para desarrollar el procedimiento propuesto.

c) Se procede a la **determinación de los sectores en el mapa**, para esto se realizó un recorrido completo de cada zona y se verificó cuales eran las condiciones de los mismos, encontrándose que la zona uno es recorrida por camiones compactador Chino en los subsectores A y B con una distancia de 14.83 km y 13.41km respectivamente desde que sale del parqueo hasta depositar los desechos en el Vertedero Municipal, con un consumo de tiempo de 5 horas en realizar toda la actividad. Este camión es asignado a esta zona por las características de la misma, ya que en ella se encuentra ubicados puntos de alta generación de residuos sólidos como el Coppelia, en el cual por

normas internacionales no se puede realizar la recolección de residuos con otro tipo de camión que incumpla con esas especificaciones.

En la Zona 5 Hospitalaria se utiliza un camión abierto de volteo que exista a disposición en ese momento, ya que es un sector residencial y se puede ejecutar la recolección de residuos en ese tipo de vehículo. De esta forma se constató que la ruta recorrida en este subsector tiene una distancia de 8.48 km.

Y la Zona 5 No Hospitalaria es recorrida por un camión compactador Chino determinándose que la ruta recorrida en este subsector tiene una distancia de 10.35 km. En ambas subsectores se consume un tiempo de 4 horas.

1. Giros innecesarios.
2. Vueltas en “U”, obstruyendo el paso vehicular.
3. Tramos muy largos sin realizar recolección de residuos.

d) Luego en compañía del Jefe de cada Zona se realiza la **preparación del mapa de trabajo para cada subsector**, en el mapa que se encuentra en la Dirección Municipal de Servicios Comunes, ubicando los puntos con mayor generación de residuos sólidos y con mayor prioridad . Es necesario mantener dos subsectores en cada Zona atendidos por el mismo número de camiones pues la generación de residuos es suficiente para la capacidad de medios y recursos asignados.

e) Hay diversas formas para **realizar los esquemas típicos de las rutas de recolección**, de forma manual siguiendo los señalamientos orientados en *las reglas para el diseño de rutas*, el uso de métodos heurísticos y desarrollando algoritmos matemáticos en software especializados, precisamente esta última herramienta es la utilizada para obtener la ruta óptima con la menor distancia a recorrer por el vehículo recolector, en la solución se empleó el Módulo *Network Modeling* del *Software WinQSB*, específicamente el Algoritmo del Agente Viajero (traveling salesman problem), considerando las distancias entre los diferentes puntos a recolectar, estableciendo secuencias de recorrido.

Para facilitar el diseño se tomó como referencia nodos estratégicos, los cuales son paradas obligatorias para el camión recolector, como se indica en la *tabla 3.3 , 3.5, 3.7 y 3.9* donde se muestra la ubicación de los nodos y la distancia entre ellos para cada subsector de cada zona en las tablas 3.4, 3.6, 3.8 y 3.10.

Análisis de la Zona 1 A

Tabla3.3: Ubicación de los nodos utilizados para el diseño de la ruta para la recolección de RSU en la Zona 1 A

Número de nodo	Ubicación
Nodo A	Candelaria y Maceo
Nodo B	Colón con Nazareno
Nodo C	Caridad con Celestina Quintero
Nodo D	Las Bocas con San Miguel
Nodo E	Buen Viaje con Unión
Nodo F	Chiquitín Pedraza con Candelaria
Nodo G	Eduardo Machado con Primera
Nodo H	Central con Candelaria
Nodo I	Tristá con Cuba
Nodo J	Carretera Central con Paseo La Paz.

[Fuente: Elaboración propia]

Tabla3.4 : Distancia en (m) entre los nodos de la Zona 1 A

	Nodo A	Nodo B	Nodo C	Nodo D	Nodo E	Nodo F	Nodo G	Nodo H	Nodo I	Nodo J
Nodo A	-	270	450	400	280	200	500	640	300	600
Nodo B	270	-	330	480	520	400	700	520	400	350
Nodo C	450	330	-	320	680	450	630	820	680	420
Nodo D	400	480	320	-	500	270	300	970	680	700
Nodo E	280	520	680	500	-	250	430	800	400	850
Nodo F	200	400	450	250	250	-	340	700	460	700
Nodo G	500	700	630	300	430	340	-	1120	770	1000
Nodo H	640	520	820	970	800	700	1120	-	420	520
Nodo I	300	400	680	680	400	460	770	420	-	680
Nodo J	600	350	420	700	850	700	1000	520	680	-

[Fuente: Elaboración propia]

Función objetivo.

$$\text{MIN: } Z = 270X_{AB} + 450X_{AC} + 400X_{AD} + 280X_{AE} + 200X_{AF} + 500X_{AG} + 640X_{AH} + 300X_{AI} + 600X_{AJ} + 330X_{BC} + 480X_{BD} + 520X_{BE} + 400X_{BF} + 700X_{BG} + 520X_{BH} + 400X_{BI} + 350X_{BJ} + 320X_{CD} + 680X_{CE} + 450X_{CF} + 630X_{CG} + 820X_{CH} + 680X_{CI} + 420X_{CJ} + 500X_{DE} + 270X_{DF} + 300X_{DG} + 970X_{DH} + 680X_{DI} + 700X_{DJ} + 250X_{EF} + 430X_{EG} + 800X_{EH} + 400X_{EI} + 850X_{EJ} + 340X_{FG} + 700X_{FH} + 460X_{FI} + 700X_{FJ} + 1120X_{GH} + 770X_{GI} + 1000X_{GJ} + 420X_{HI} + 520X_{HJ} + 680X_{IJ}$$

Análisis de la Zona 1 B

Tabla 3.5 : Ubicación de los nodos utilizados para el diseño de la ruta para la recolección de RSU en la Zona 1 B

Número de nodo	Ubicación
Nodo 1	Candelaria con Maceo
Nodo 2	Padre Chao con Alemán
Nodo 3	J. Valdés con Alemán
Nodo 4	J. B. Zayas con Garófalo.
Nodo 5	Martí con Máximo Gómez
Nodo 6	Unión con Parque de los Mártires.
Nodo 7	M.J. Gutiérrez con San Vicente.
Nodo 8	Carmen Gutiérrez con Berenguer
Nodo 9	Céspedes con Maceo.

[Fuente: Elaboración propia]

Tabla 3.6: Distancia en (m) entre los nodos de la Zona 1 B

	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6	Nodo 7	Nodo 8	Nodo 9
Nodo 1	-	550	750	900	850	900	580	700	300
Nodo 2	550	-	300	650	400	870	800	720	540
Nodo 3	750	300	-	370	300	670	770	600	580
Nodo 4	900	650	370	-	320	330	650	400	640
Nodo 5	850	400	300	320	-	450	480	320	350
Nodo 6	900	870	670	330	450	-	450	250	630
Nodo 7	580	800	770	650	480	450	-	270	330
Nodo 8	700	720	600	400	320	250	270	-	400
Nodo 9	300	540	580	640	350	630	330	400	-

[Fuente: Elaboración propia]

Función objetivo

$$\text{MIN: } Z = 550X_{12} + 750X_{13} + 900X_{14} + 850X_{15} + 900X_{16} + 580X_{17} + 700X_{18} + 300X_{19} + 300X_{23} + 650X_{24} + 400X_{25} + 870X_{26} + 800X_{27} + 720X_{28} + 540X_{29} + 370X_{34} + 300X_{35} + 670X_{36} + 770X_{37} + 600X_{38} + 580X_{39} + 320X_{45} + 330X_{46} + 650X_{47} + 400X_{48} + 640X_{49} + 450X_{56} + 480X_{57} + 320X_{58} + 350X_{59} + 450X_{67} + 250X_{68} + 630X_{69} + 270X_{78} + 330X_{79} + 400X_{89}$$

Análisis de la Zona 5 Hospitalaria

Tabla 3.7: Ubicación de los nodos utilizados para el diseño de la ruta para la recolección de RSU en la Zona 5 Hospitalaria

Número de nodo	Ubicación
Nodo A	3ra Oeste con Paseo La Paz
Nodo B	Calle 4ta Punto Morodo
Nodo C	Prolongación de Colón con calle A
Nodo D	Calle C Punto Obelisco
Nodo E	Doble vía con Río Cubanicay
Nodo F	Prolongación de colón con 7ma
Nodo G	Punto Sakenaf

[Fuente: Elaboración propia]

Tabla 3.8 : Distancia en (m) entre los nodos de la Zona 5 Hospitalaria

	Nodo A	Nodo B	Nodo C	Nodo D	Nodo E	Nodo F	Nodo G
Nodo A	-	350	500	470	680	590	950
Nodo B	350	-	450	270	380	350	950
Nodo C	500	450	-	260	740	800	1350
Nodo D	470	270	260	-	500	580	1200
Nodo E	680	380	740	500	-	300	900
Nodo F	590	350	800	580	300	-	670
Nodo G	950	950	1350	1200	900	670	-

[Fuente: Elaboración propia]

Función objetivo

$$\text{MIN: } Z = 350X_{AB} + 500X_{AC} + 470X_{AD} + 680X_{AE} + 590X_{AF} + 950X_{AG} + 450X_{BC} + 270X_{BD} + 380X_{BE} + 350X_{BF} + 950X_{BG} + 260X_{CD} + 740X_{CE} + 800X_{CF} + 1350X_{CG} + 500X_{DE} + 580X_{DF} + 1200X_{DG} + 300X_{EF} + 900X_{EG} + 670X_{FG}$$

Análisis de la Zona 5 No Hospitalaria

Tabla 3.9: Ubicación de los nodos utilizados para el diseño de la ruta para la recolección de RSU en la Zona 5 No Hospitalaria

Número de nodo	Ubicación
Nodo 1	3ra Oeste con Paseo La Paz
Nodo 2	Avenida 7 de Diciembre con 7ma
Nodo 3	Paseo La Paz con Circunvalación (Reparto Domínguez)
Nodo 4	San Carlos con 1ra del Oeste
Nodo 5	Hospital con Cuba
Nodo 6	Celestina Quintero con Central
Nodo 7	Misionero con Alemán
Nodo 8	Pto Bloque 31
Nodo 9	Circunvalación con Carretera Acueducto.

[Fuente: Elaboración propia]

Tabla 3.10: Distancia en (m) entre los nodos de la Zona 5 No Hospitalaria

	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6	Nodo 7	Nodo 8	Nodo 9
Nodo 1	-	300	500	300	750	1100	850	300	800
Nodo 2	300	-	300	600	1000	1300	1100	450	550
Nodo 3	500	300	-	700	1250	1600	1300	700	450
Nodo 4	300	600	700	-	600	1050	600	450	1100
Nodo 5	750	1000	1250	600	-	450	200	600	1500
Nodo 6	1100	1300	1600	1050	450	-	550	950	1800
Nodo 7	850	1100	1300	600	200	550	-	750	1600
Nodo 8	300	450	700	450	600	950	750	-	900
Nodo 9	800	550	450	1100	1500	1800	1600	900	-

[Fuente: Elaboración propia]

Función objetivo

$$\text{MIN: } Z = 300X_{12} + 500X_{13} + 300X_{14} + 750X_{15} + 1100X_{16} + 850X_{17} + 300X_{18} + 800X_{19} + 300X_{23} + 600X_{24} + 1000X_{25} + 1300X_{26} + 1100X_{27} + 450X_{28} + 550X_{29} + 700X_{34} + 1250X_{35} + 1600X_{36} + 1300X_{37} + 700X_{38} + 450X_{39} + 600X_{45} + 1050X_{46} + 600X_{47}$$

$$+ 450X_{48} + 1100X_{49} + 450X_{56} + 200X_{57} + 600X_{58} + 1500X_{59} + 550X_{67} + 950X_{68} + 1800X_{69} + 750X_{78} + 1600X_{79} + 900X_{89}$$

Definición de la **variable de decisión**:

$$X_{m,n} = \begin{cases} 1 & \text{Si en la ruta está el arco (m n)} \\ 0 & \text{Si el arco (m, n) se encuentra en otra ruta} \end{cases}$$

Para

$$m = n = A,B,C,D,E,F,G,H,I,J \quad \text{Zona1 A}$$

$$m = n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \quad \text{Zona 1 B}$$

$$m = n = A,B,C,D,E,F,G \quad \text{Zona 5 Hospitalaria}$$

$$m = n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \quad \text{Zona 5 No Hospitalaria}$$

Es importante aclarar que el empleo de las letras o números para designar los arcos se hizo para diferenciar las rutas fundamentalmente en el momento de graficar los mapas.

Con $m \neq n$

El modelo de función objetivo que se establecerá para el desarrollo del problema, que cumple con las condiciones necesarias para encontrar una solución óptima, es la siguiente:

$$\text{MIN } Z = \sum_m^n d(X_{mn}).$$

Donde d = Distancia del arco en m .

$X_{m,n}$ = Cantidad de veces que se viaja por el arco.

Las restricciones que se necesitan para que el modelo sea viable y pueda lograrse una solución óptima se indica en los *anexos 4,5,6,7*.

Los resultados obtenidos utilizando los métodos de solución con los que cuenta el software se muestran en los *anexos 8,9,10,11* , y se resumen en la *tabla 3.11*.

Tabla 3.11: Resumen de los resultados obtenidos en la zona 1 y 5 con el software WinQSB, modulo *Network Modeling*

Zona 1 A

Modelo utilizado	Ruta óptima	Distancia en metros (m)
Nearest Neighbor	NodoA-NodoF-NodoD-NodoG-NodoE- NodoI- NodoB- NodoC- NodoJ- NodoH- NodoA	3890
Cheapest Insertion	NodoA-NodoB-NodoJ-NodoH-NodoI- NodoE- NodoF- NodoG- NodoD- NodoC- NodoA	3620
Two-way Exchange Improvement	NodoA-NodoB-NodoJ-NodoH-NodoI- NodoE- NodoF- NodoG- NodoD- NodoC- NodoA	3620
Branch and Bound	NodoA-NodoI-NodoH-NodoJ-NodoB- NodoC- NodoD- NodoG- NodoF- NodoE- NodoA	3410

[Fuente: Elaboración propia]

Zona 1 B

Modelo utilizado	Ruta óptima	Distancia en metros (m)
Nearest Neighbor	Nodo1-Nodo9-Nodo7-Nodo8-Nodo6-Nodo4- Nodo5- Nodo3- Nodo2- Nodo1	2950
Cheapest Insertion	Nodo6-Nodo7-Nodo1-Nodo9-Nodo5-Nodo2- Nodo3- Nodo4- Nodo8- Nodo6	3400
Two-way Exchange Improvement	Nodo7-Nodo1-Nodo9-Nodo5-Nodo2-Nodo3- Nodo4- Nodo6- Nodo8- Nodo7.	3150
Branch and Bound	Nodo1-Nodo9-Nodo7-Nodo8-Nodo6-Nodo4- Nodo5- Nodo3- Nodo2- Nodo1	2950

[Fuente: Elaboración propia]

Zona 5 Hospitalaria

Modelo utilizado	Ruta óptima	Distancia en metros (m)
Nearest Neighbor	NodoA-NodoB-NodoD-NodoC-NodoE- NodoF- NodoG- NodoA	3540
Cheapest Insertion	NodoC-NodoA-NodoG-NodoF-NodoE- NodoB- NodoD- NodoC	3330
Two-way Exchange Improvement	NodoC-NodoA-NodoG-NodoF-NodoE- NodoB- NodoD- NodoC.	3330
Branch and Bound	NodoA-NodoG-NodoF-NodoE-NodoB- NodoD- NodoC- NodoA	3330

[Fuente: Elaboración propia]

Zona 5 No Hospitalaria.

Modelo utilizado	Ruta óptima	Distancia en metros (m)
Nearest Neighbor	Nodo1-Nodo2-Nodo3-Nodo9-Nodo8-Nodo4-Nodo5- Nodo7- Nodo6- Nodo1	4850
Cheapest Insertion	Nodo5-Nodo6-Nodo7-Nodo4-Nodo1-Nodo3-Nodo9- Nodo2- Nodo8- Nodo5	4450
Two-wayExchange Improvement	Nodo5-Nodo6-Nodo7-Nodo4-Nodo1-Nodo3-Nodo9- Nodo2- Nodo8- Nodo5.	4450
Branch and Bound	Nodo1-Nodo3-Nodo9-Nodo2-Nodo8-Nodo5-Nodo6- Nodo7- Nodo4- Nodo1	4450

[Fuente: Elaboración propia]

Luego de analizar los resultados obtenidos por el software WinQSB, que otorga cuatro posibles algoritmos de solución, entre los que destacan: el método del vecino más cercano (*Nearest neighbor heuristic*), el método de heurística de inserción a menor costo (*cheapest insertion heuristic*), el método heurístico de mejoramiento de cambio a dos vías (*two way exchange improvement heuristic*) y el método divide y vencerás (*branch and bound method*), se comprueba que algunos métodos brindan el mismo resultado en cada subsector pero siguiendo una ruta diferente, de esta manera se procede a seleccionar un único modelo(para cada subsector, y darle continuidad al procedimiento), el cual cumplan con los señalamientos siguientes:

1. Mantener el mismo lugar de salida de los vehículos recolectores en cada subsector, y que al final de la jornada de trabajo vuelvan a este sitio con la tripulación para contactar con el jefe de zona y otros directivos si fuera preciso y verificar el desempeño del día.
2. Visitar a primeras horas de la mañana el subsector hospitalario, momento en que es mayor el número de desechos acumulados.

En la tabla 3.12 se muestra para cada subsector de cada zona la ruta ofrecida por Branch and Bound que es la más oportuna para realizar la recolección de RSU en todos los casos ya que

es la que recorre menor distancia y cumple con los señalamientos del Jefe de transporte de la Dirección Municipal de Servicios Comunales.

Tabla 3.12 Distancia en metro de cada ruta.

Zona 1	Subsector A	3410 m
	Subsector B	2950 m
Zona 5	Subsector Hospitalario	3330 m
	Subsector No Hospitalario	4450 m

[Fuente: Elaboración propia]

Hay que aclarar que estas rutas no fueron la primera variante obtenida, si no el resultado de muchos ensayos y corrección de errores que permitieron llegar a este resultado, y tampoco es la única alternativa ya que se pueden obtener varias soluciones igualmente óptimas utilizando las mismas herramientas, se decidió entonces, tomar estas rutas para aplicar los pasos siguientes del procedimiento como se puede ver en los anexos 12 y 13, comprobando si cumple con *las reglas para el diseño de rutas* y gran parte de los métodos heurísticos expuestos por Gaitán Mesa (2006).

Etapas II: Gestión

Fase 5: Verificación del diseño de las rutas

Se procede a **cuantificar la longitud del recorrido** de las rutas en km, concluyendo que la ruta A de la Zona 1 recorre una distancia de 13.41 km. y la ruta B de la misma Zona una distancia de 12.95 km..

En la ruta Hospitalaria de la Zona 5 se recorre una distancia de 8.33 km y en la ruta no Hospitalaria una distancia de 9.45 km.

Se **constata el sentido de circulación** de las vías utilizadas para el recorrido del vehículo, sin presentar ninguna contradicción.

La **transitabilidad** de las calles no cambia en ninguna época del año, y en la zona no existen manzanas deshabitadas que no necesiten la prestación del servicio.

Se representa las principales rutas de recolección para cada subsector en el anexo 7 tal y como resultó con el software winQSB, modulo *Network Modeling*.

Fase 6: Implementación de la ruta

En la *tabla 3.13* se muestra el programa de implementación que se elabora para garantizar el funcionamiento estable de las rutas de recolección.

Tabla 3.13: Programa de implementación para la Zona 1 y Zona 5

Actividad	Fecha de ejecución	Responsable
1. Adiestramiento del personal que participa en cada una de las rutas de recolección <ul style="list-style-type: none"> • Chóferes • Estibadores • Supervisores 2. Información a los clientes	Abril 20 - 2007 Abril 21 - 2007 Abril 22 - 2007 Abril 24 - 2007	Jefe de cada Zona, bajo la supervisión del Jefe de Transporte.

[Fuente: Elaboración propia]

Etapas III: Control

Fase 7: Seguimiento y control de las rutas

La valoración del comportamiento se resume en la *tabla 3.14*. Al comparar este resultado con el comportamiento actual (*tabla 3.15*) se aprecia una mejoría significativa.

Tabla 3.14: Desempeño actual de las principales rutas de recolección después de aplicar el procedimiento.

	Criterios	Factores	Comportamiento
Zona 1	Nivel de servicio al cliente	Recolección oportuna de los desechos	De 30 recolecciones, se realizaron 30. 100%
	Gestión ambiental	Afectación ambiental	30 recolecciones
	Gestión económica	Consumo de combustible	51 litros de diesel diarios.
Zona 5	Nivel de servicio al cliente	Recolección oportuna de los desechos	De 30 recolecciones, se realizaron 30. 100%
	Gestión ambiental	Afectación ambiental	30 recolecciones
	Gestión económica	Consumo de combustible	49 litros de diesel diarios por vehículo.

[Fuente: Elaboración propia]

3.2 Análisis de los resultados obtenidos con la aplicación del procedimiento

Derivado del epígrafe anterior, en la tabla 3.15 se resumen algunos resultados obtenidos durante el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 3.15: Resumen de algunos resultados obtenidos a partir de la aplicación del procedimiento general.

	Indicador	Antes	Después
Zona 1	Distancia recorrida (km)	28.24	26.36
	Tiempo de recorrido (h)	5	4,5
	Consumo de combustible (l)	52	51
	Cantidad de recolecciones realizadas en un mes	29	30
	Nivel de servicio al cliente (%)	96.67	100
Zona 5	Distancia recorrida (km)	18.83	17.78
	Tiempo de recorrido (h)	4	3.5
	Consumo de combustible (l)	50	49
	Cantidad de recolecciones realizadas en un mes	28	30
	Nivel de servicio al cliente (%)	93.33	100

[Fuente: Elaboración propia]

Como se puede apreciar en la tabla 3.15 los cinco indicadores evaluados antes y después de la implementación del procedimiento mejoraron, por lo que quedó demostrada la validez de la hipótesis formulada en la presente investigación. Es importante destacar, que aunque para un día de trabajo solamente se logra ahorrar un litro de combustible en cada zona, al analizar este ahorro anual implica 730 l dejados de consumir.

3.3 Beneficios obtenidos con la aplicación del procedimiento

Derivado de lo anterior, de una u otra forma se obtienen beneficios ambientales, económicos, metodológicos y sociales, los cuales se resumen en la *tabla 3.16*. Es importante aclarar, que como consecuencia de la disminución del recorrido en cada subsector se reduce el tiempo de recolección y el consumo de combustible que puede utilizarse en otras zonas o subsectores de la ciudad para elevar el nivel de servicio al cliente y mejorar la limpieza de la ciudad (preservación del medio ambiente).

Tabla 3.16 : Beneficios que se obtienen con la aplicación del procedimiento general

Beneficios	Contenido
Ambiental	Contribución a la preservación del medio ambiente de las zonas de recolección objeto de estudio.
Económico	Ahorro de combustibles fósiles. Ahorro en los costos de transporte.
Metodológico	Se le brinda a la Dirección Municipal de Servicios Comunes un procedimiento que le permite mejorar el diseño y la gestión de las rutas de recolección de RSU considerando criterios relacionados con los costos, el medioambiente y el nivel de servicio al cliente.
Social	Contribución con la estrategia de mantener la higiene en la ciudad, lo cual repercute en la salud de la población.

[Fuente: Elaboración propia]

3.4 Conclusiones parciales

1. Luego de aplicar el procedimiento general en el diseño de las principales rutas de recolección de la zona 1 y zona 5 de la ciudad Santa Clara se logró reducir el tiempo de duración del recorrido en 0.5 h y se disminuyó el consumo de combustible diesel en 2 litros diariamente.
2. El procedimiento utilizado permitió dar solución al modelo de redes propuesto ya que se logró una disminución en la distancia total recorrida equivalente a 2 km y 1.5 km. en las zonas 1 y 5 respectivamente. Esto contribuyó a mejorar el proceso de toma de decisiones logísticas en la gestión de las rutas de recolección.
3. Al aumentar en uno y dos el número de veces que se realizó la recolección de RSU para la zona 1 y 5 respectivamente, se contribuyó a disminuir los efectos negativos provocados al medio ambiente en las zonas estudiadas y a la vez se elevó el nivel de servicio al cliente.
4. Los resultados alcanzados en la aplicación del procedimiento general en las zonas objeto de estudio de esta investigación en la ciudad Santa Clara permitieron

contribuir a mejorar la gestión económica de la organización logrando un ahorro anual de 730 litros de combustible.

Conclusiones

CONCLUSIONES GENERALES

1. Los resultados obtenidos en la construcción del marco teórico – referencial confirmaron que existe una amplia base conceptual para el diseño y la gestión de sistemas logísticos en general, y de las rutas de recolección de residuos sólidos en particular. Se encontraron precedentes de la aplicación del enfoque cadena de suministro a la secuencia de éstos procesos en el diseño y la gestión de las rutas para la recolección de RSU en una ciudad.
2. Con la investigación realizada quedó demostrado que mediante la generalización del procedimiento elaborado por Gaitán Mesa(2006) para el diseño y gestión de las rutas de recolección de RSU en una ciudad se logra disminuir el consumo de combustible en 2 litros por recorrido diario en las zonas analizadas, lo cual implica un ahorro anual de 730 litros de combustible y a aumentar la cantidad de recolecciones de RSU en cada zona, corroborando así la correcta formulación del problema científico planteado.
3. En el procedimiento general se empleó como herramienta el Módulo *Network Modeling* del Software *WinQSB*, el cual permitió dar solución al modelo de redes propuesto ya que se logró una disminución de 2 km y 1.5 km en las zonas uno y cinco respectivamente. Esto contribuyó a mejorar el proceso de toma de decisiones logísticas en el diseño y gestión de las rutas de recolección.
4. Una vez implementados, en las rutas objeto de estudio, el procedimiento mencionado anteriormente se obtuvieron beneficios ambientales, económicos, metodológicos y sociales, los cuales reflejan su viabilidad.

Recomendaciones.

RECOMENDACIONES

Como parte de la continuidad de este trabajo investigativo se recomienda:

1. Aplicar el procedimiento propuesto en las demás zonas de recolección de la ciudad para corroborar los resultados obtenidos hasta ahora y poder utilizar esta investigación como base para desarrollar nuevos proyectos con el fin de mejorar las afectaciones ambientales provocadas con el manejo de los RSU y optimizar los resultados económicos de estas empresas.
2. Extender la aplicación del procedimiento general a otras ciudades del país con el objetivo de apoyar la estrategia de desarrollo de las Empresas de Servicios Comunes en los próximos años.
3. Establecer indicadores que permitan evaluar el desempeño de las rutas de recolección de forma integral donde se conjuguen criterios económicos y productivos.
4. Continuar la divulgación de los resultados de esta investigación mediante su publicación y presentación en artículos y eventos científicos, particularmente relacionados con la logística en el país

Referencias Bibliográficas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Arteaga King, Alonso (2005) SCM Marketing Executive IBM América. México D.F.
En <http://www.cimm.com.mx/cimm/gestion.html>
2. Ballou, H. R. (1991) La logística empresarial. Control y Planificación. Ediciones Díaz de Santos. Madrid.
3. Bocalandro, N; Frid, D; Socolovsky, L. (2001). Biología II Polimodal. Editorial Estrada. En <http://www.scruz.gov.ar/recursos/educacion/opiaus01/gestiony.htm>
4. CEPIS. (1996) Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima.
5. Cespón Castro, R. & Amador Orellana, María Auxiliadora. (2003). Administración de la cadena de suministros. Manual para estudiantes de la especialidad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica Centroamericana de Honduras. UNITEC. Tegucigalpa.
6. CLM-UN (2003). *What is Reverse Logistics? Center for Logistics Management University of Nevada, Reno*. En <http://www.rlec.org/clmun.htm>. [acceso 5/abril/2007].
7. Comas Pullés, R. (1996) Logística, origen, desarrollo y análisis sistémico. Logística Aplicada No 1. pp.3-9. Ciudad de la Habana.
8. Echarri Luís. (2004) Residuos sólidos urbanos. Incineración. Universidad de Navarra. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. En <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecología/hipertexto/13residuo.htm> [acceso 5/abril/2007].
9. Enciclopedia. (2005) Enciclopedia Universal Micronet Versión 2006. En <http://www.encyclopedia.net/#> [acceso 7/abril/2007]
10. ERMP (1995) Recuperación de desechos. Editado por la Empresa de Recuperación de Materias Primas. Ciudad de la Habana.
11. Gaitán Mesa, Fabio Alexander (2006). Diseño y gestión de las rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en la ciudad Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Trabajo de diploma.

12. Gómez Acosta Marta Inés & Acevedo Suárez, J. A. (2001) Logística moderna y la competitividad empresarial. Ed. Centro de Estudio Tecnología de Avanzada (CETA) y Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (LOGESPRO). Ciudad de la Habana.
13. Huete, Estibaliz (2004) Residuos sólidos urbanos. Vertederos controlados. Escuela superior de ingenieros. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. [acceso 11/abril/2007] En <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/13residuo/112Vertc.htm>
14. ISO 9000 (2000). Proyecto de norma internacional. Sistema de gestión de calidad. Principios fundamentales y vocabulario. ISO/DIS 9000.
15. Knudsen González, J. (2005) Diseño y gestión de la cadena de suministro de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar. Aplicación a los residuos agrícolas cañeros, el bagazo y las mieles. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
16. Knudsen González, J. & Gaitán Mesa F. (2006). Procedimiento para el diseño y gestión de rutas de recolección en una ciudad. Evento Provincial de la UNAIC. Santa Clara.
17. Matos Rodríguez, H. (1997) Modelo para el diseño y mejoramiento del sistema de reciclaje de residuos de envase en zonas turísticas. Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
18. NC 133: (2002) Residuos Sólidos Urbanos – Almacenamiento, Recolección y Transportación – Requisitos Higiénicos Sanitarios y Ambientales. Primera Edición. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de la Habana.
19. ONN (1998) NC – ISO 14000. Gestión ambiental. Compendio. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de la Habana.
20. OMS/OPS. (2002) Evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos. Centro provincial de higiene y epidemiología. Villa Clara. Cuba.

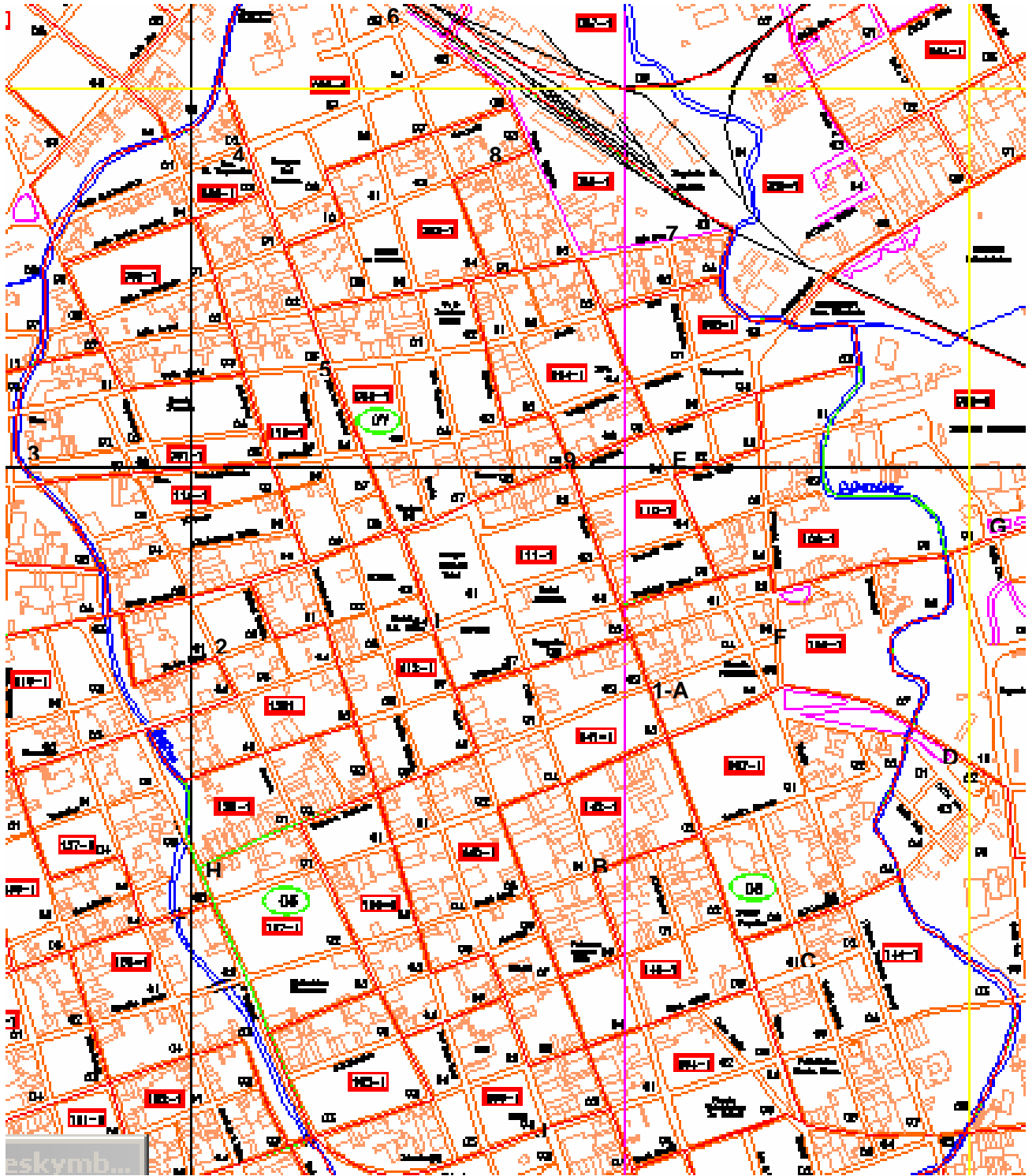
21. OMS/OPS. (2004) Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington, D.C. En <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/fulltext/informe/cap1.pdf>
22. Pérez Moran, R. (2002) Residuos sólidos urbanos. Revista Cubasolar. En <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia31/HTML/articulo04.htm>
23. Rautenstrauch, C. (2003). *Environmental Information Systems*. Curso de informática para el medio ambiente. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Diplomado de Informática Empresarial.
24. Sakurai, Kunitoshi (1980). Área de residuos sólidos. Diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos. En <http://www.cepis.ops-oms.org/es/fulltext/curso/diseño/disen.html> [acceso 12/abril/2007]
25. Santos Norton, María Lilia (1996). Concepción de un enfoque en sistema para la gestión de los aprovisionamientos. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echevarría”. Ciudad de la Habana. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
26. SEDESOL (1997). Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales. México, D.F. En http://www.bajacalifornia.gob.mx/ecología/servicios/residuos_solidos/manual_rutasres_solmunicipales.pdf [acceso 14/abril/2007]
27. Semarnat (2005). Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas. Generalidades. En <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/105/1.html> [acceso 15/abril/2007]
28. Tompkins, J. A. (2000). *No boundaries. Moving Beyond SCM*. Tompkins Press. North Carolina, USA.
29. Torres Gemeil, M. et al. (2003). Logística. Temas Seleccionados. Tomo I. Primera Edición. Editorial Feijoo. Ciudad de la Habana.

Anexo 1: Algunas definiciones de residuos sólidos urbanos.

Autor o Institución	Año	Definición.
Empresa de Recuperación de Materias Primas	1995	Son aquellos que se generan en los espacios urbanizados, como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domesticas (vivienda), servicios (hoteles, hospitales, oficinas y red comercial) y de las papeleras, industrias y equipos descontinuados.
CEPIS	1996	Conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tienen utilidad practica o valor comercial para la persona o actividad que los produce.
Tomado de http://www.uned.es/biblioteca/rsu/pagina1.htm	1997	Se definen en la Ley de Residuos como los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades.
CUBASOLAR	1998	Comprenden todo material que sea desechado por la población; pueden ser de origen doméstico, comercial, industrial, desechos de la vía pública y resultantes de la construcción.
Norma Cubana 133	2002	Conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce, siendo procedente de las actividades domesticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas.

[Fuente: Elaboración propia a partir de varias fuentes bibliográficas]

Anexo 2: Ruta de recolección actual, Zona 1



[Fuente:Elaboración propia]

Subsector 1 : R A-2-3-4-5-6-7-8-9-1-I-J-A

Anexo 3: Ruta de recolección actual, Zona 5



[Fuente: Elaboración propia]

Subsector hospitalario	A-B-C-D-E-F-G-A
Subsector No hospitalario	1-2-3-4-5-6-7-8-9-1

Anexo4: Restricciones del problema para la Zona 1 A.

Todo lo que sale de cada uno de los nodos es igual a la unidad.

1. $X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} = 1$
2. $X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} = 1$
3. $X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{310} = 1$
4. $X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{410} = 1$
5. $X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{56} + X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{510} = 1$
6. $X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{610} = 1$
7. $X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{78} + X_{79} + X_{710} = 1$
8. $X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} + X_{85} + X_{86} + X_{87} + X_{89} + X_{810} = 1$
9. $X_{91} + X_{92} + X_{93} + X_{94} + X_{95} + X_{96} + X_{97} + X_{98} + X_{910} = 1$
10. $X_{101} + X_{102} + X_{103} + X_{104} + X_{105} + X_{106} + X_{107} + X_{108} + X_{109} = 1$

Todo lo que entre a cada uno de los nodos es igual a la unidad.

1. $X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{101} = 1$
2. $X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102} = 1$
3. $X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} + X_{83} + X_{93} + X_{103} = 1$
4. $X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} + X_{64} + X_{74} + X_{84} + X_{94} + X_{104} = 1$
5. $X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{65} + X_{75} + X_{85} + X_{95} + X_{105} = 1$
6. $X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{76} + X_{86} + X_{96} + X_{106} = 1$
7. $X_{17} + X_{27} + X_{37} + X_{47} + X_{57} + X_{67} + X_{87} + X_{97} + X_{107} = 1$
8. $X_{18} + X_{28} + X_{38} + X_{48} + X_{58} + X_{68} + X_{78} + X_{98} + X_{108} = 1$
9. $X_{19} + X_{29} + X_{39} + X_{49} + X_{59} + X_{69} + X_{79} + X_{89} + X_{109} = 1$
10. $X_{110} + X_{210} + X_{310} + X_{410} + X_{510} + X_{610} + X_{710} + X_{810} + X_{910} = 1$

Anexo 5 : Restricciones del problema para la Zona 1 B

Todo lo que sale de cada uno de los nodos es igual a la unidad.

1. $X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} = 1$
2. $X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} = 1$
3. $X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} = 1$
4. $X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} = 1$
5. $X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{56} + X_{57} + X_{58} + X_{59} = 1$
6. $X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{67} + X_{68} + X_{69} = 1$
7. $X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{78} + X_{79} = 1$
8. $X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} + X_{85} + X_{86} + X_{87} + X_{89} = 1$
9. $X_{91} + X_{92} + X_{93} + X_{94} + X_{95} + X_{96} + X_{97} + X_{98} = 1$

Todo lo que entre a cada uno de los nodos es igual a la unidad.

1. $X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} = 1$
2. $X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} = 1$
3. $X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} + X_{83} + X_{93} = 1$
4. $X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} + X_{64} + X_{74} + X_{84} + X_{94} = 1$
5. $X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{65} + X_{75} + X_{85} + X_{95} = 1$
6. $X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{76} + X_{86} + X_{96} = 1$
7. $X_{17} + X_{27} + X_{37} + X_{47} + X_{57} + X_{67} + X_{87} + X_{97} = 1$
8. $X_{18} + X_{28} + X_{38} + X_{48} + X_{58} + X_{68} + X_{78} + X_{98} = 1$
9. $X_{19} + X_{29} + X_{39} + X_{49} + X_{59} + X_{69} + X_{79} + X_{89} = 1$

Anexo 6: Restricciones del problema para la Zona 5 Hospitalaria

Todo lo que sale de cada uno de los nodos es igual a la unidad.

1. $X_{AB} + X_{AC} + X_{AD} + X_{AE} + X_{AF} + X_{AG} + X_{AH} + X_{AI} + X_{AJ} = 1$
2. $X_{BA} + X_{BC} + X_{BD} + X_{BE} + X_{BF} + X_{BG} + X_{BH} + X_{BI} + X_{BJ} = 1$
3. $X_{CA} + X_{CB} + X_{CD} + X_{CE} + X_{CF} + X_{CG} + X_{CH} + X_{CI} + X_{CJ} = 1$
4. $X_{DA} + X_{DB} + X_{DC} + X_{DE} + X_{DF} + X_{DG} + X_{DH} + X_{DI} + X_{DJ} = 1$
5. $X_{EA} + X_{EB} + X_{EC} + X_{ED} + X_{EF} + X_{EG} + X_{EH} + X_{EI} + X_{EJ} = 1$
6. $X_{FA} + X_{FB} + X_{FC} + X_{FD} + X_{FE} + X_{FG} + X_{FH} + X_{FI} + X_{FJ} = 1$
7. $X_{GA} + X_{GB} + X_{GC} + X_{GD} + X_{GE} + X_{GF} + X_{GH} + X_{GI} + X_{GJ} = 1$
8. $X_{HA} + X_{HB} + X_{HC} + X_{HD} + X_{HE} + X_{HF} + X_{HG} + X_{HI} + X_{HJ} = 1$
9. $X_{IA} + X_{IB} + X_{IC} + X_{ID} + X_{IE} + X_{IF} + X_{IG} + X_{IH} + X_{IJ} = 1$
10. $X_{JA} + X_{JB} + X_{JC} + X_{JD} + X_{JE} + X_{JF} + X_{JG} + X_{JH} + X_{JI} = 1$

Todo lo que entre a cada uno de los nodos es igual a la unidad.

1. $X_{BA} + X_{CA} + X_{DA} + X_{EA} + X_{FA} + X_{GA} + X_{HA} + X_{IA} + X_{JA} = 1$
2. $X_{AB} + X_{CB} + X_{DB} + X_{EB} + X_{FB} + X_{GB} + X_{HB} + X_{IB} + X_{JB} = 1$
3. $X_{AC} + X_{BC} + X_{DC} + X_{EC} + X_{FC} + X_{GC} + X_{HC} + X_{IC} + X_{JC} = 1$
4. $X_{AD} + X_{BD} + X_{CD} + X_{ED} + X_{FD} + X_{GD} + X_{HD} + X_{ID} + X_{JD} = 1$
5. $X_{AE} + X_{BE} + X_{CE} + X_{DE} + X_{FE} + X_{GE} + X_{HE} + X_{IE} + X_{JE} = 1$
6. $X_{AF} + X_{BF} + X_{CF} + X_{DF} + X_{EF} + X_{GF} + X_{HF} + X_{IF} + X_{JF} = 1$
7. $X_{AG} + X_{BG} + X_{CG} + X_{DG} + X_{EG} + X_{FG} + X_{HG} + X_{IG} + X_{JG} = 1$
8. $X_{AH} + X_{BH} + X_{CH} + X_{DH} + X_{EH} + X_{FH} + X_{GH} + X_{IH} + X_{JH} = 1$
9. $X_{AI} + X_{BI} + X_{CI} + X_{DI} + X_{EI} + X_{FI} + X_{GI} + X_{HI} + X_{JI} = 1$
10. $X_{AJ} + X_{BJ} + X_{CJ} + X_{DJ} + X_{EJ} + X_{FJ} + X_{GJ} + X_{HJ} + X_{IJ} = 1$

Anexo 7: Restricciones del problema para la Zona 5 No Hospitalaria

Todo lo que sale de cada uno de los nodos es igual a la unidad.

1. $X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} = 1$
2. $X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} = 1$
3. $X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{310} = 1$
4. $X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{410} = 1$
5. $X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{56} + X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{510} = 1$
6. $X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{610} = 1$
7. $X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{78} + X_{79} + X_{710} = 1$
8. $X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} + X_{85} + X_{86} + X_{87} + X_{89} + X_{810} = 1$
9. $X_{91} + X_{92} + X_{93} + X_{94} + X_{95} + X_{96} + X_{97} + X_{98} + X_{910} = 1$
10. $X_{101} + X_{102} + X_{103} + X_{104} + X_{105} + X_{106} + X_{107} + X_{108} + X_{109} = 1$

Todo lo que entre a cada uno de los nodos es igual a la unidad.

1. $X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{101} = 1$
2. $X_{12} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102} = 1$
3. $X_{13} + X_{23} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} + X_{83} + X_{93} + X_{103} = 1$
4. $X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{54} + X_{64} + X_{74} + X_{84} + X_{94} + X_{104} = 1$
5. $X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{65} + X_{75} + X_{85} + X_{95} + X_{105} = 1$
6. $X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{76} + X_{86} + X_{96} + X_{106} = 1$
7. $X_{17} + X_{27} + X_{37} + X_{47} + X_{57} + X_{67} + X_{87} + X_{97} + X_{107} = 1$
8. $X_{18} + X_{28} + X_{38} + X_{48} + X_{58} + X_{68} + X_{78} + X_{98} + X_{108} = 1$
9. $X_{19} + X_{29} + X_{39} + X_{49} + X_{59} + X_{69} + X_{79} + X_{89} + X_{109} = 1$
10. $X_{110} + X_{210} + X_{310} + X_{410} + X_{510} + X_{610} + X_{710} + X_{810} + X_{910} = 1$

Anexo 8 : Resultados del WinQSB para el diseño de la ruta de recolección de la Zona 1 A.

Distancia en metros entre los nodos de la cadena

From \ To	Node A	Node B	NodeC	Node D	Node E	Node F	Node G	Node H	Node I	Node J
Node A		270	450	400	280	200	500	640	300	600
Node B	270		330	480	520	400	700	520	400	350
NodeC	450	330		320	680	450	630	820	680	420
Node D	400	480	320		500	270	300	910	680	700
Node E	280	520	680	500		250	430	800	400	850
Node F	200	400	450	250	250		340	700	460	700
Node G	500	700	630	300	430	340		1120	770	1000
Node H	640	520	820	970	800	700	1120		420	520
Node I	300	400	680	680	400	460	770	420		680
Node J	600	350	420	700	850	700	1000	520	680	

Resultado obtenido utilizando Nearest Neighbor

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node A	Node F	200	6	Node I	Node B	400
2	Node F	Node D	250	7	Node B	NodeC	330
3	Node D	Node G	300	8	NodeC	Node J	420
4	Node G	Node E	430	9	Node J	Node H	520
5	Node E	Node I	400	10	Node H	Node A	640
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3890
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

Resultado obtenido utilizando Cheapest Insertion

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node A	Node B	270	6	Node E	Node F	250
2	Node B	Node J	350	7	Node F	Node G	340
3	Node J	Node H	520	8	Node G	Node D	300
4	Node H	Node I	420	9	Node D	NodeC	320
5	Node I	Node E	400	10	NodeC	Node A	450
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3620
	(Result	from	Cheapest	Insertion	Heuristic)		

Anexo 8: Continuación.

Resultado obtenido utilizando Two-way Exchange Improvement

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node A	Node B	270	6	Node E	Node F	250
2	Node B	Node J	350	7	Node F	Node G	340
3	Node J	Node H	520	8	Node G	Node D	300
4	Node H	Node I	420	9	Node D	NodeC	320
5	Node I	Node E	400	10	NodeC	Node A	450
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3620
	(Result	from	Two-way	Exchange	Improvement	Heuristic)	

Resultado obtenido utilizando Branch and Bound

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node A	Node I	300	6	NodeC	Node D	320
2	Node I	Node H	420	7	Node D	Node G	300
3	Node H	Node J	520	8	Node G	Node F	340
4	Node J	Node B	350	9	Node F	Node E	250
5	Node B	NodeC	330	10	Node E	Node A	280
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3410
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Anexo 9: Resultados del WinQSB para el diseño de la ruta de recolección de la Zona 1 B.

Distancia en metros entre los nodos de la cadena

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9
Node1		550	750	900	850	900	580	700	300
Node2	550		300	650	400	870	800	720	540
Node3	750	300		370	300	670	770	600	580
Node4	900	650	370		320	330	650	400	640
Node5	850	400	300	320		450	480	320	350
Node6	900	870	670	330	450		450	250	630
Node7	580	800	770	650	480	450		270	330
Node8	700	720	600	400	320	250	270		400
Node9	300	540	580	640	350	630	330	400	

Resultado obtenido utilizando Nearest Neighbor

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node9	300	6	Node4	Node5	320
2	Node9	Node7	330	7	Node5	Node3	300
3	Node7	Node8	270	8	Node3	Node2	300
4	Node8	Node6	250	9	Node2	Node1	550
5	Node6	Node4	330				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	2950
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

Resultado obtenido utilizando Cheapest Insertion

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node6	Node7	450	6	Node2	Node3	300
2	Node7	Node1	580	7	Node3	Node4	370
3	Node1	Node9	300	8	Node4	Node8	400
4	Node9	Node5	350	9	Node8	Node6	250
5	Node5	Node2	400				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3400
	(Result	from	Cheapest	Insertion	Heuristic)		

Resultado obtenido utilizando Two-way Exchange Improvement

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node7	Node1	580	6	Node3	Node4	370
2	Node1	Node9	300	7	Node4	Node6	330
3	Node9	Node5	350	8	Node6	Node8	250
4	Node5	Node2	400	9	Node8	Node7	270
5	Node2	Node3	300				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3150
	(Result	from	Two-way	Exchange	Improvement	Heuristic)	

Anexo 9:Continuación.

Resultado obtenido utilizando Branch and Bound

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node9	300	6	Node4	Node5	320
2	Node9	Node7	330	7	Node5	Node3	300
3	Node7	Node8	270	8	Node3	Node2	300
4	Node8	Node6	250	9	Node2	Node1	550
5	Node6	Node4	330				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	2950
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Anexo 10 : Resultados del WinQSB para el diseño de la ruta de recolección de la Zona 5 Hospitalaria.

Distancia en metros entre los nodos de la cadena.

From \ To	Node A	Node B	NodeC	Node D	Node E	Node F	Node G
Node A		350	500	470	680	590	950
Node B	350		450	270	380	350	950
NodeC	500	450		260	740	800	1350
Node D	470	270	260		500	580	1200
Node E	680	380	740	500		300	900
Node F	590	350	800	580	300		670
Node G	950	950	1350	1200	900	670	

Resultado obtenido utilizando Nearest Neighbor

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	NodeA	NodeB	350	5	NodeE	NodeF	300
2	NodeB	NodeD	270	6	NodeF	NodeG	670
3	NodeD	NodeC	260	7	NodeG	NodeA	950
4	NodeC	NodeE	740				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3540
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

Resultado obtenido utilizando Cheapest Insertion

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	NodeC	NodeA	500	5	NodeE	NodeB	380
2	NodeA	NodeG	950	6	NodeB	NodeD	270
3	NodeG	NodeF	670	7	NodeD	NodeC	260
4	NodeF	NodeE	300				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3330
	(Result	from	Cheapest	Insertion	Heuristic)		

Anexo 10: Continuación

Resultado obtenido utilizando Two-way Exchange Improvement

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	NodeC	NodeA	500	5	NodeE	NodeB	380
2	NodeA	NodeG	950	6	NodeB	NodeD	270
3	NodeG	NodeF	670	7	NodeD	NodeC	260
4	NodeF	NodeE	300				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3330
	(Result	from	Two-way	Exchange	Improvement	Heuristic)	

Resultado obtenido utilizando Branch and Bound

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	NodeA	NodeG	950	5	NodeB	NodeD	270
2	NodeG	NodeF	670	6	NodeD	NodeC	260
3	NodeF	NodeE	300	7	NodeC	NodeA	500
4	NodeE	NodeB	380				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	3330
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Anexo 11: Resultados del WinQSB para el diseño de la ruta de recolección en la Zona 5 No Hospitalaria

Distancia en metros entre los nodos de la cadena

From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9
Node1		300	500	300	750	1100	850	300	800
Node2	300		300	600	1000	1300	1100	450	550
Node3	500	300		700	1250	1600	1300	700	450
Node4	300	600	700		600	1050	600	450	1100
Node5	750	1000	1250	600		450	200	600	1500
Node6	1100	1300	1600	1050	450		550	950	1800
Node7	850	1100	1300	600	200	550		750	1600
Node8	300	450	700	450	600	950	750		900
Node9	800	550	450	1100	1500	1800	1600	900	

Resultado obtenido utilizando Nearest Neighbor

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node2	300	6	Node4	Node5	600
2	Node2	Node3	300	7	Node5	Node7	200
3	Node3	Node9	450	8	Node7	Node6	550
4	Node9	Node8	900	9	Node6	Node1	1100
5	Node8	Node4	450				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	4850
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

Resultado obtenido utilizando Cheapest Insertion

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node5	Node6	450	6	Node3	Node9	450
2	Node6	Node7	550	7	Node9	Node2	550
3	Node7	Node4	600	8	Node2	Node8	450
4	Node4	Node1	300	9	Node8	Node5	600
5	Node1	Node3	500				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	4450
	(Result	from	Cheapest	Insertion	Heuristic)		

Anexo 11: Continuación

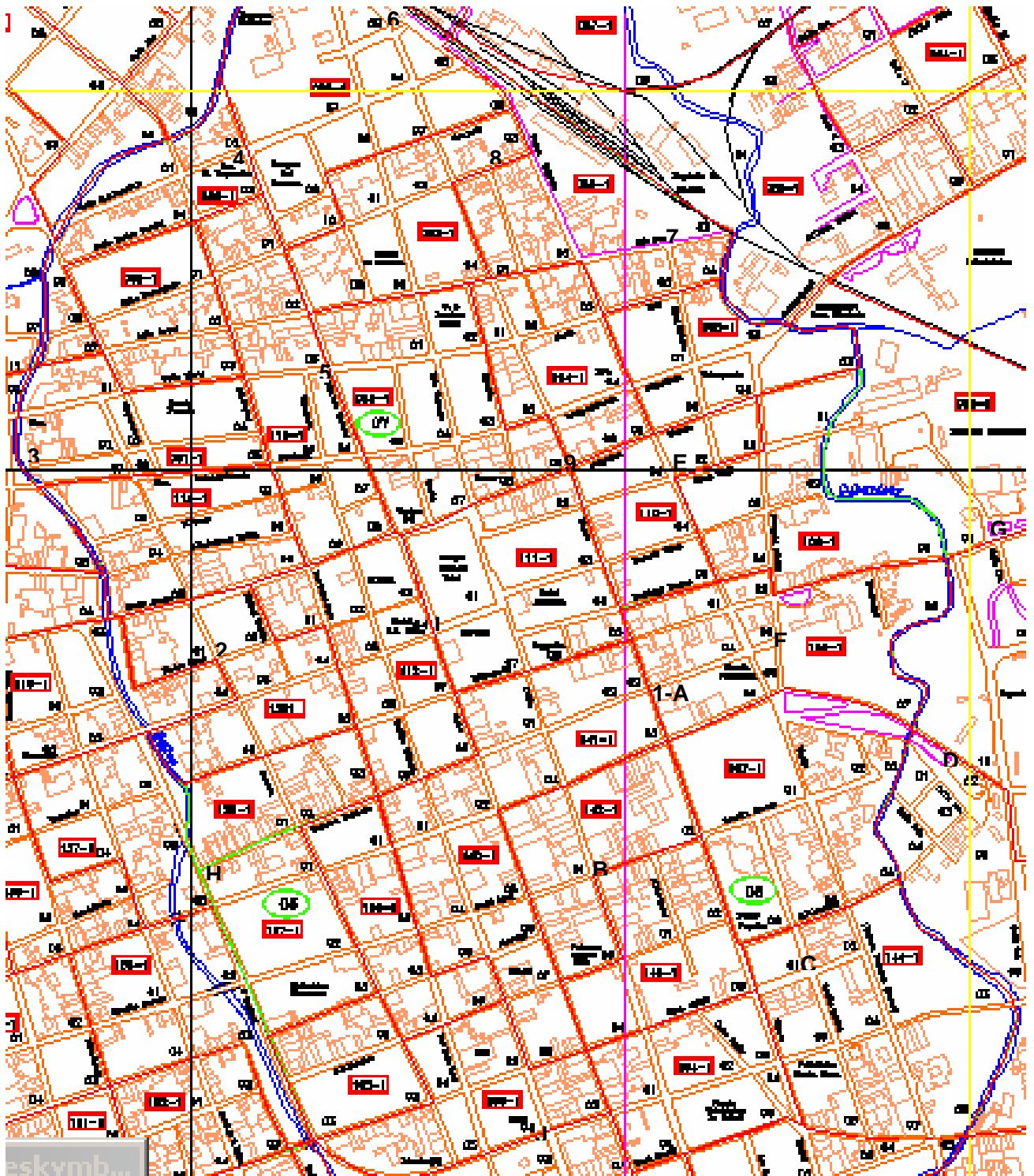
Resultado obtenido utilizando Two-way Exchange Improvement

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node5	Node6	450	6	Node3	Node9	450
2	Node6	Node7	550	7	Node9	Node2	550
3	Node7	Node4	600	8	Node2	Node8	450
4	Node4	Node1	300	9	Node8	Node5	600
5	Node1	Node3	500				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	4450
	(Result	from	Two-way	Exchange	Improvement	Heuristic)	

Resultado obtenido utilizando Branch and Bound.

06-25-2007	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node3	500	6	Node5	Node6	450
2	Node3	Node9	450	7	Node6	Node7	550
3	Node9	Node2	550	8	Node7	Node4	600
4	Node2	Node8	450	9	Node4	Node1	300
5	Node8	Node5	600				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	4450
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Anexo 12: Ruta de recolección propuesta, Zona 1



[Fuente:Elaboración propia]

Subsector 1 - A A-I-H-J-B-C-D-G-F-E-A

Subsector 1 - A 1-9-7-8-6-4-5-3-2-1

Anexo 13: Ruta de recolección propuesta, Zona 5



[Fuente:Elaboración propia]

Subsector hospitalario	A-G-F-E-B-D-C-A
Subsector No hospitalario	1-3-9-2-8-5-6-7-4-1