

UNIVERSIDAD DEL NORTE
Departamento De Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Administrativa

**DISEÑO DE UN MODELO DE ASIGNACIÓN Y BALANCEO DE RUTAS PARA
PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE CARTERA VENCIDA**

Preparado por
Milton José Acero Domínguez

Tutores
Carmen Regina Berdugo Correa
Rita Patricia Peñabaena Niebles



Barranquilla, Colombia

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

ii

El informe del proyecto que figura en este documento no ha sido presentado previamente para optar por un título o diploma en esta o cualquier otra institución de educación superior. Es resultado del conocimiento y creencia del autor y no contiene ningún material publicado o escrito por otra persona excepto donde previamente se hace la debida referencia.

Resumen	1
CAPITULO 1	3
1.1. Introducción	3
1.2. Generalidades	6
1.3. Identificación del Problema	6
1.4. Justificación	10
1.5. Objetivos	16
1.5.1. Objetivo General	16
1.5.2. Objetivos Específicos	16
1.6. Resultados Esperados	16
1.7. Etapas Metodológicas del Proyecto	16
1.8. Alcances	19
CAPITULO 2	20
2.1. Marco de Referencia	20
2.2. Marco Conceptual	20
2.3. Marco Teórico	30
2.3.1. El problema de ruteo de vehículos:	30
2.3.2. Modelo de asignación y balanceo de rutas	38
2.3.3. Campos de aplicación:	38
2.4. Marco Espacial	40
2.5. Análisis Bibliográfico	40
CAPITULO 3	46
3.1. Análisis del sistema de información geográfico	46
3.1.1. Análisis básico de la empresa	46
3.1.1.1. Ubicación de Clientes	47
3.1.1.2. Medios de movilidad	48
3.1.1.3. Definición de zonas de cobertura	48
3.1.2. Análisis del entorno geográfico de la ciudad	51
3.2. Benchmarking de Metodologías: Pruebas de Tracking	55
3.2.1. Metodología de barrido	55
3.2.2. Metodología de ahorros de Clarke and Wright	57
3.3. Formulación	58
3.3.1. Algoritmo propuesto	58
3.3.2. Selección de clústeres	60
3.3.3. Configuración de parámetros	62
3.3.4. Trazos de rutas maestras a mano alzadas	62
3.3.5. Verificación de rutas a través de geocodificación	62
3.3.6. Revisión de rutas, escucha activa con personal de campo para piloto	63
CAPITULO 4	64
4.1. Despliegue	64
4.1.1. Implementar prueba piloto	64
4.1.1.1. Generación de instancias	64

4.1.1.2. Diseño de algoritmos	65
4.1.1.3. Tabulación de los resultados	71
4.2. Evaluación	71
4.3. Interface de software desarrollada	73
CAPITULO 5	82
5.1. Conclusiones	82
BIBLIOGRAFÍA.....	84

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 - Identificación del Problema. Análisis de Causas y efectos	7
Ilustración 2 - Etapas metodológicas del proyecto.....	17
Ilustración 3 – Forma plana conexa	21
Ilustración 4 – Forma plana no conexa.....	22
Ilustración 5 – Representación gráfica CVRP	36
Ilustración 6 – Representación gráfica OVRP	36
Ilustración 7 – Representación gráfica MDVRP	37
Ilustración 8 – Representación gráfica CVRPTW	38
Ilustración 9- Ejemplo Área de estudio.....	51
Ilustración 10- Red simplificada: soluciones posible con 4 clientes	52
Ilustración 11- Reducción del espacio de soluciones.	53
Ilustración 12- Detalle de clientes por clúster.	54
Ilustración 13- Solución obtenida mediante el algoritmo de barrido.	56
Ilustración 14- Representación gráfica de Barreras en un mapa.	60
Ilustración 15- Configuración de clústeres.	61
Ilustración 16- Conformación de un camino Hamiltoniano.	63
Ilustración 17- Solución gráfica del modelo propuesto- Instancia 3.	66
Ilustración 18- Solución gráfica del algoritmo de barrido- Instancia 3.....	68
Ilustración 19- Pantalla 1 – Software de asignación y balanceo de rutas.	74
Ilustración 20- Pantalla 2 – Software de asignación y balanceo de rutas.	75
Ilustración 21- Pantalla 3 – Software de asignación y balanceo de rutas.	76
Ilustración 22- Pantalla 4 – Software de asignación y balanceo de rutas.	77
Ilustración 23- Pantalla 5 – Software de asignación y balanceo de rutas.	78
Ilustración 24- Tabla resumen	78
Ilustración 25- Pantalla 6 – Software de asignación y balanceo de rutas.	79
Ilustración 26- Pantalla 7 – Software de asignación y balanceo de rutas.	80

Tabla 1 - Revisión bibliográfica	41
Tabla 2 – Resumen de Revisión bibliográfica	44
Tabla 3 – Distancia recorrida por Agente. Modelo Propuesto. Instancia 3.....	67
Tabla 4 – Distancia recorrida por Agente. Modelo Propuesto. Instancia 3.....	67
Tabla 5 – Distancia recorrida por Agente. Algoritmo de barrido. Instancia 3.....	69
Tabla 6 – Distancia recorrida por Agente. Algoritmo Barrido. Instancia 3.....	70

Resumen

En el presente proyecto se desarrolla el diseño de un modelo de asignación y balanceo de rutas para la realización de visitas a clientes en el cumplimiento de actividades de recuperación de cartera, tales como notificaciones por incumplimiento en los pagos de las cuotas pactadas en el contrato de compra y venta.

Se quiere brindar una herramienta para mejorar la eficiencia de la programación de actividades de ruteo, en dónde no se utiliza un soporte tecnológico, sino solamente la experiencia de las personas; de tal manera que se obtengan ahorros en costos logísticos asociados con los productos y se mejoren condiciones para la empresa y para los trabajadores. La heurística se prueba a través de un piloto, que permita una adecuada calibración y documentación de la metodología.

Las etapas que comprenden este proyecto son: Análisis, formulación, despliegue y evaluación, el desarrollo implica por parte del autor, la mayor rigurosidad metodológica que conlleven a un documento para ser consultado por la comunidad académica y empresarial.

Abstract

In this project, is developed a model for assign and balance routes to visit clients in the fulfillment of portfolio recovery activities, because technological support is not used, but only the experience of people; in order to obtain savings in logistics costs associated with the products and conditions for the company and workers are improved.

The author wants to provide a tool to improve the efficiency on programming of routing activities, because technological support is not used, but only the experience of people; in order to obtain savings in logistics costs associated with the products and conditions for the company and workers are improved. The heuristic is tested, which allows an accurate calibration and documentation of the methodology.

The stages that contain this project are: Analysis, formulation, deployment and evaluation, the development implies on the part of the author, the greater methodological rigor that entails a document to be consulted by the academic and business community.

DISEÑO DE UN MODELO DE ASIGNACIÓN Y BALANCEO DE RUTAS PARA PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE CARTERA VENCIDA

CAPITULO 1

1.1. Introducción

En el presente proyecto se construye un modelo de asignación y balanceo de rutas, para una compañía que se dedica a la comercialización de productos a crédito; estas empresas tienen diferentes canales para generar el recaudo de cartera, dependiendo del grado de severidad con que se requiera generar el cobro: telefónico, correo electrónico, mensajes de texto y visitas en lugar de residencia, siendo las visitas el canal con mejores resultados para los clientes con mayor grado de morosidad, los cuales previamente se les ha intentado persuadir para obtener un pago de su cuota por los demás canales, debiendo afrontar y resolver un problema: ¿cómo ser eficientes en el establecimiento de sus rutas para la recuperación de cartera vencida?, teniendo en cuenta, que los clientes a visitar no siempre son los mismos, dado que, cada crédito en particular se encuentra con diferentes cuotas vencidas, no estén ubicados en el mismo lugar (porque el cliente puede cambiar de residencia o lugar de cobro), la compañía debe tener estrategias para visitar al cliente y persuadirlo a cumplir con su obligación financiera. En la literatura, encontramos problemas similares, en el que se debe gestionar el establecimiento de las rutas para visitar a los clientes, con distintos

propósitos: mercadeo, distribución, repartos (Ardila, 2015), recuperación de cartera, u otros. Estos procesos de visitas a los clientes pueden tener alta frecuencia, implicando porcentajes importantes en el precio final de los productos (Correa, Gómez, Loaiza, Lopera, & Villegas, 2008), esto se debe a que en la medida que no se tengan rutas asociadas a un objetivo de costo mínimo, la empresa incurrirá en consumos mayores de combustible y tiempo en el desarrollo de los recorridos.

El ahorro en los costos, sin deteriorar el servicio, juega un papel importante, porque permite llegar al cliente, con un menor precio que la competencia. (Correa, Gómez, Loaiza, Lopera, & Villegas, 2008), esto se explica porque al encarecer los costos operativos, manteniendo un mismo margen bruto, se necesita incrementar los precios para poder suplir ésta pérdida marginal.

Este proyecto se enfoca en resolver el problema de la asignación y balanceo de rutas, aplicando un modelo en una empresa, en dónde las herramientas que se utilizan, no tienen soporte tecnológico, sino que utilizan de manera manual, la experiencia de las personas o el criterio de un supervisor.

La resolución del problema tendrá como punto de inicio el análisis de una actividad de cobranza de cartera, que permitirá generar una heurística de asignación y balanceo de rutas, la cual tiene en cuenta reglas específicas de una empresa y la movilidad de una ciudad.

El problema será abordado a partir de la caracterización del modelo de asignación y ruteo, así mismo, la identificación de actividades económicas, en las que el modelo genere valor y sean beneficiadas con los resultados del mismo.

El objetivo central, es diseñar e implementar un modelo de asignación y balanceo de rutas.

Metodológicamente, se hace necesario realizar la caracterización del modelo de asignación y balanceo de rutas, para conocer muy de cerca su funcionamiento definiendo las condiciones estándar de la movilidad de las ciudades y condiciones de georeferenciación (Geoconcept, 2015).

Se comparará contra otro método de balanceo que permitan validar el funcionamiento del mismo, buscando características en común para la implementación de este nuevo modelo.

Posteriormente, se realizó una prueba piloto (con datos reales de una empresa que se dedica a la recuperación de cartera) utilizando la metodología en una actividad específica y finalmente se hacen las evaluaciones y propuesta de mejoras necesarias.

Se aspira a que, con este proyecto, las actividades empresariales de asignación de rutas, puedan desarrollarse bajo esta metodología, encontrando una herramienta práctica para el diseño de rutas de manera eficiente obteniendo ahorro en los costos logísticos, mejores resultados en los servicios hacia el cliente, y en el posicionamiento en los mercados.

1.2. Generalidades

En el presente proyecto se desarrollará un modelo de asignación y balanceo de rutas, para ser aplicado en actividades empresariales de recuperación de cartera por medio de visitas a clientes, para persuadir el pago de sus obligaciones.

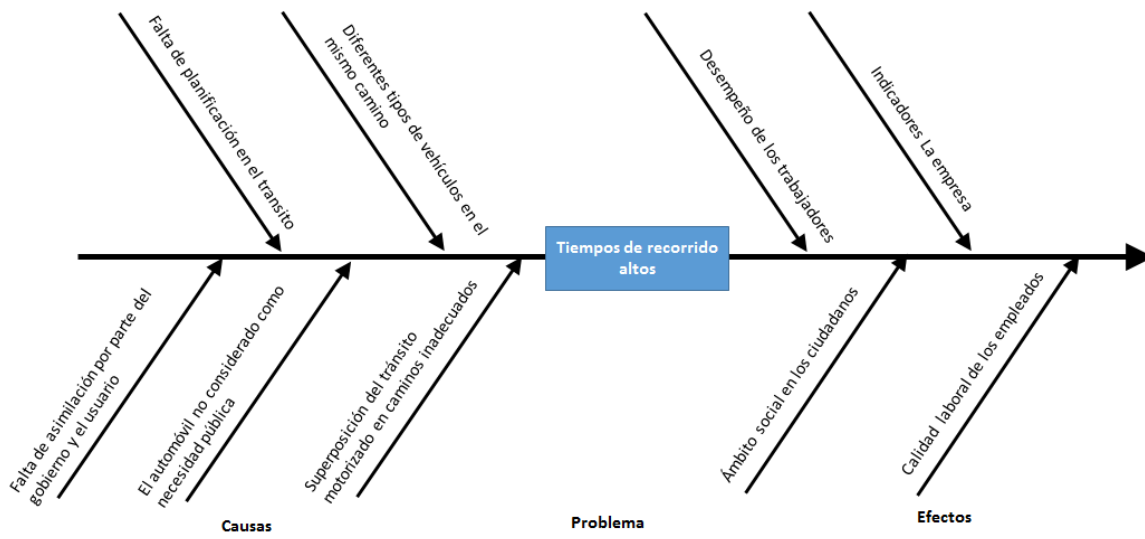
1.3. Identificación del Problema

Las empresas que deben elaborar programas de asignación y balanceo de rutas (Gonzalez, 2010), para cumplir con distintas actividades, por ejemplo tareas de gestión de distribución (Rodriguez, 2007), gestión comercial, o gestión de cartera, entre otros; tienen el riesgo que si la programación no se realiza de una manera técnica y adecuada, involucrando las variables propias de la empresa (Diaz, 2016), los trabajadores y el mismo entorno; podrían llegar a obtener rutas ineficientes con tiempos de recorrido altos, lo cual trae impactos negativos sobre los generadores de dichas variables y que desde luego afecta los costos finales, poniendo en peligro el posicionamiento de los productos y servicios en el mercado. (Correa, Gómez, Loiza, Lopera, & Villegas, 2008)

A partir del análisis de actividades empresariales en artículos de investigación, como: “La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales” (Thomson, 2002) “redes de distribución de las empresas de paquetería” (Bernal Segura, 2013), “Diseño de rutas de transporte terrestre para el personal operativo nocturno de la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla” (Ardila, 2015) , “Marco y micro ruteo de residuos sólidos residenciales” (Marquez, 2010), “Estudio de un problema de

distribución de productos alimenticios permitiendo particionar las entregas” (Salas Requene, 2012) y “Modelo de ruteo de cuadrillas de suspensión y reconexión de cuadrillas de energía en Bogotá” (Salamando Ramirez, 2011) se aplicó el diagrama de Ishikawa¹, identificando el problema y estableciendo sus causas y efectos, tal como se muestra en la ilustración 1.

Ilustración 1 - Identificación del Problema. Análisis de Causas y efectos



Fuente: Propia.

Hay barreras muy delgadas entre causas, efectos y el problema como tal y en la práctica, no es fácil delimitar estas fronteras; siendo necesario, relacionar los impactos de cada uno de sus componentes.

De esta manera y en forma general, se identificó como problema principal, **los tiempos de recorrido altos**, en la realización de asignación de rutas.

¹ También conocido como espina de pescado, que muestra relaciones causa-efecto.

Siempre que se trabaje con asignación de rutas, se fija como objetivo cumplir la tarea prevista, minimizando los tiempos de recorrido al menor costo. En la ilustración 1, se puede observar, cuáles son las causas y los efectos de tener tiempos de recorrido altos. La solución propuesta debe tratar las causas² y no los efectos del problema identificado, ya que de otra manera no se corrige el problema y se malgastan los recursos, al no corregir la causa que lo produce.

Con base en la ilustración, los principales puntos del análisis son:

- ✓ **El problema identificado** es el tiempo de recorrido alto en la realización de las rutas asignadas.
- ✓ **¿Qué lo está produciendo?:** Las fallas en la programación y el diseño de asignación de rutas, tales como, no conocer las particularidades de la movilidad de la ciudad, manejar un alto volumen de datos de manera manual o sin herramientas adecuadas, ignorar condiciones de barreras arquitectónicas o condiciones naturales, entre otras.

Las causas principales son estudiadas por el doctor Rafael Cal, en el capítulo “Factores que intervienen en el problema” en su libro “Ingeniería de Tránsito” y siguen teniendo total vigencia en países en desarrollo, (Cal, 1972), estos son:

1. **Diferentes tipos de vehículos en el mismo camino**

² Hay causas raíz y causas aportantes, ante todo se debe tratar las causas raíz.

Diferentes automóviles de uso particular, camiones, autobuses, motocicletas, vehículos no motorizados (como bicicletas), vehículos de alta velocidad en contraste con camiones pesados de baja velocidad, incluyendo remolques y vehículos tirados por animales o personas, generando congestión en las vías públicas.

2. Incremento del tránsito motorizado en vías

Colombia, se encuentra con un incremento de familias por metro cuadrado, dado por la necesidad de mejorar el aprovechamiento del uso del suelo, construyendo edificios de varias plantas, manteniendo la misma infraestructura vial.

3. Falta de planificación en el tránsito

Previsión casi nula para estacionamiento, faltas de obras complementarias en el camino e intersecciones proyectadas sin base técnica.

4. El automóvil no considerado como necesidad pública

Falta de apreciación de las autoridades sobre la necesidad del vehículo dentro de la economía del transporte. Se debe estimular el uso del transporte público sostenible e incrementar la cobertura para el consumo de mayor porcentaje de la población.

5. Falta de visión por parte del gobierno

Falta de educación vial del conductor y del peatón.

✓ **¿Qué efectos está causando?:** Se producen efectos hacia tres ejes: sobre los trabajadores o gestores (deterioro de sus condiciones laborales, desmotivación, reducción de incentivos económicos), sobre la empresa (dificultada en el control y logro de objetivos) y sobre el entorno social (incrementando el deterioro de condiciones de tráfico o ambientales).

1. **Para la empresa:** Es necesario contratar más personal, porque entre mayor tiempo en tráfico por la necesidad de movilizarse para visitar a todos los clientes, implica mayor cantidad de vehículos y por lo tanto mayor cantidad de personas operando estos vehículos. También, se dificulta elaborar estadísticas.
2. **Para el trabajador:** Los empleados utilizados para el desplazamiento en vehículos son impactados por ser ellos quienes deben permanecer más tiempo cubriendo la ruta.
3. **Para los ciudadanos:** Los ciudadanos comparten las vías públicas para desplazarse hacia sus lugares de actividad (trabajo, estudio,...) y son ellos quienes sufren el taponamiento de las vías por el exceso de oferta de vehículos transitando.

1.4. Justificación

Revisando la información del análisis del punto anterior, el problema identificado tiene unas causas y unos efectos. Se estableció que los efectos se producen tanto en la

compañía, en los trabajadores y el entorno en que se desarrollan las rutas, lo cual genera efectos en los costos por las ineficiencias en el establecimiento y desarrollo del programa de ruteo. Hoy en día, para mantenerse en el mercado, “se hace necesario la disminución de los costos logísticos asociados con el transporte”. (Correa, Gómez, Loaiza, Lopera, & Villegas, 2008). Estas ineficiencias de costos se ven reflejados, entre otros en:

- ✓ Necesidad de contratar mayor personal al realmente requerido,
- ✓ No lograr los objetivos en el tiempo previsto,
- ✓ En el caso de los trabajadores, no se obtienen sus bonificaciones por no poder alcanzar las metas previstas

Existe una serie de efectos, para los cuales, no es tan sencillo medir su impacto específico, pero que cualitativamente, también se ven afectadas negativamente:

- ✓ Deterioro del bienestar laboral, por condiciones de desmotivación, estrés y fatiga.
- ✓ Deterioro de la calidad de vida de los entornos urbanos, por el incremento de la contaminación ambiental y del tráfico en las ciudades. Si no se optimizan las rutas, significa que más personas, motos o vehículos deben ingresar a cumplir programas de rutas, con un aumento proporcional en la contaminación ambiental y de tráfico. Por ejemplo, la primera entrega de sistema de vigilancia y calidad del aire (SCVA) instalado a finales de 2016 por la corporación regional autónoma (CRA), arrojó que respirar el aire

contaminado genera enfermedades relacionadas con tumores malignos en bronquios y pulmón. Es así que para Puerto Colombia y Soledad – Atlántico en estudios realizados por el DANE en el año 2010, 81 de un total de 1778 defunciones, vienen relacionadas con neumonía, enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y tumor maligno de los bronquios.

Los indicadores medio ambientales que buscan reducir el impacto ambiental, social, económico, financiero y cultural, son ampliamente estudiados para el caso Colombia por la universidad del valle y colocados a disposición de la comunidad en general en el libro “Transporte Urbano y desarrollo sostenible en América Latina” (Rolf Moller, 2006), en él se muestra que los indicadores del desarrollo de sostenibilidad se definen con base en los niveles de impacto que son aceptables bajo criterios de sostenibilidad, por ejemplo, que cantidad de contaminación del aire con partículas en suspensión se pueden tolerar, el nivel de ruido que es admisible. Los indicadores de este estudio que impacta en el concepto de logística verde son:

- **Contaminación ambiental** tal como existencia y niveles de gases contaminantes
- **Medición de la calidad** del aire a través de un sistema de monitoreo en varios puntos de la ciudad
- **Consumo de combustibles**, el aumento de este influye en la contaminación atmosférica de la ciudad, sin embargo, se precisa que también depende de la calidad y estado de los motores. Las causas que

generan la contaminación atmosférica son ampliadas por el doctor Jose Casas en el capítulo “Conceptos de contaminación por automotores” del libro “Transporte urbano y medio ambiente: memorias” (Casas R., 1993) en él que se muestra las tres causas sobre las emisiones: 1. Que salen por el exosto, debido a la combustión realizada en el motor entre el combustible utilizado y el aire. 2. Evaporativas: aquellas que presentan inmediatamente después de apagar el vehículo como consecuencia de las diferencias de temperaturas del motor y el medio ambiente. 3. Las que se presentan durante el aprovisionamiento de combustible. Todas generadas por consecuencia de la utilización de automotores que propenden a la movilización del ser humano.

- **Número absoluto de autos y motos matriculados** en cada ciudad, este indicador debe ir acompañado por un segundo que muestre la cantidad de vehículos transitando, es decir, es posible que vehículos de otras ciudades puedan también transitar en la ciudad objeto del estudio.
- **Mediciones del ruido** acompañado de la distinción por el tipo de zona (residencial, comercial, industrial) y el tipo de jornada (día, noche).
- **Zonas de tráfico regulado** con respecto a la cantidad en km de vías donde los vehículos transitan a velocidades menores a 30 km/h.
- **Victimas mortales y heridos en accidente de tránsito**, este indicador afecta tanto al movimiento de pasajeros y carga, los accidentes de

tránsito genera un impacto social tanto en las familias de los afectados, así también, genera reducciones temporales de tráfico en el lugar donde se produce el incidente.

- **Pavimentaciones de la red vial** medida en km lineales de vías pavimentadas clasificadas según su funcionalidad.
- **Empleo de transporte urbano** significa menos uso de los vehículos particulares por lo tanto menos congestión de las vías de tránsito.

El Proyecto, tiene su JUSTIFICACIÓN, en dos líneas

- ✓ Ahorros fundamentales en costos, debido a que al impactar de manera técnica, la estrategia para establecer rutas, se estará corrigiendo la causa raíz de la demora en los tiempos de recorrido, lo cual lleva a minimizar o eliminar los efectos mencionados anteriormente.
- ✓ Al disminuir o eliminar impactos negativos adicional al tema de costos, se obtienen beneficios cualitativos, pero muy importantes:
 1. Mejor calidad de vida y bienestar de los trabajadores: balanceo en su trabajo, jornadas laborales de acuerdo con lo establecido, mayor probabilidad de incentivo por cumplimiento de objetivos, mejor desempeño, rutas lógicas, sin pérdidas de tiempo, evitando duplicidad de recorridos.
 2. Disponibilidad de herramientas técnicas para elaborar estadísticas que permiten: ahorros de tiempo en la elaboración y entrega de

la programación de ruteo, un mejor control del desempeño individual y colectivo, y llevar indicadores de desempeño de cumplimiento.

3. Mejor calidad en el entorno social³, ya que el modelo racionalizó el recurso humano y motorizado, con lo cual las personas y vehículos que ingresan a cumplir una ruta, serán los mínimos necesarios.
4. Incremento del índice de cumplimiento de metas, programas y estrategias empresariales y de los trabajadores.
5. Evita pérdida de tiempo en el desarrollo de la actividad de campo, porque optimiza las rutas y tienen en cuenta las barreras urbanas y los criterios de movilidad.

De otro lado la aplicación del modelo, lleva a un incremento de las visitas a los clientes, que, dependiendo del objeto de la visita, incrementa un indicador de desempeño, en ventas, cartera u otro objetivo previsto, mejorando bien sea su cantidad o disminuyendo el tiempo de consecución.

³ Específicamente el tema de contaminación ambiental y movilidad

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un modelo de asignación y balanceo de rutas terrestres para procesos de recuperación de cartera con el fin de reducir las distancias totales recorridas.

1.5.2. Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar un modelo de asignación y balanceo de rutas, para conocer con detalle el funcionamiento de sus procesos y resultados esperados con la aplicación de las técnicas de establecimientos de rutas.
- ✓ Identificar las principales características de los algoritmos de balanceo de rutas terrestres en actividades similares al que utiliza un modelo de asignación y balanceo de rutas: movilidad, geo codificación y georreferenciación.
- ✓ Realizar una prueba piloto de un modelo de asignación y balanceo de rutas, en línea con el modelo propuesto.

1.6. Resultados Esperados

Al final del desarrollo del proyecto, se espera obtener un modelo, que permita asignar y balancear rutas de manera sencilla y eficiente, en procesos de recuperación de cartera vencida.

1.7. Etapas Metodológicas del Proyecto

Para dar respuesta al problema identificado, se seguirán las siguientes etapas metodológicas.

Ilustración 2 - Etapas metodológicas del proyecto



Fuente: Propia.

En la primera etapa (Análisis), se establecieron los detalles del funcionamiento del modelo de asignación y balanceo de rutas. Desarrollando un mecanismo de configuración de estructuras viales de la ciudad, teniendo en cuenta un sistema de georreferenciación.

En la segunda etapa (Formulación), se determinaron actividades mínimas para el desarrollo de un modelo de asignación y balanceo de rutas teniendo en cuenta procedimiento para generar clústeres y zonas de trabajo.

En la tercera etapa (Despliegue), se implementó una prueba piloto utilizando información georreferenciada de la ciudad de Barranquilla.

Y finalmente, en la cuarta etapa (Evaluación), se realizó seguimiento a los resultados obtenidos.

1.8. Alcances

- ✓ El proyecto da respuesta a actividades empresariales relacionadas con recuperación de cartera por medio de visitas, cuyos problemas se puedan resolver con un modelo de asignación y balanceo de rutas.

CAPITULO 2

2.1. Marco de Referencia

La investigación realizada tomó en cuenta el conocimiento previo construido en cuanto al transporte de mercancías, sus formas de definición del problema y descripción de las soluciones al mismo. Se incluyen conceptos relacionados con los procesos de colocación de créditos y recuperación de cartera.

2.2. Marco Conceptual

Transporte de mercancías: Es el traslado de productos desde un origen a un destino. En esto no se diferencia en el transporte de viajeros. Esta definición sirve también para cualquier medio de transporte: camión, barco, ferrocarril, avión, motocicleta, bus (Mauleón Torres, 2013).

Puntos de origen: Corresponde a la descripción de cada una de las localizaciones de los puntos de abastecimiento o de distribución (Mora García L. A., 2010).

Indicadores logísticos: Son relaciones de datos numéricos y cuantitativos aplicados a la gestión logística que permite evaluar el desempeño y el resultado en cada proceso de la cadena de abastecimiento (Mora García L. A., 2007).

Logística verde: Adopción de requerimientos ambientales en las actividades logísticas tradicionales que se llevan a cabo entre proveedores y clientes. Es decir, tiene en cuenta los aspectos medioambientales en todas las actividades logísticas tradicionales, desde el productor de bienes o servicios hasta el consumidor, con el objetivo del consumo racional de recursos naturales no renovables, manejo seguro de desechos,

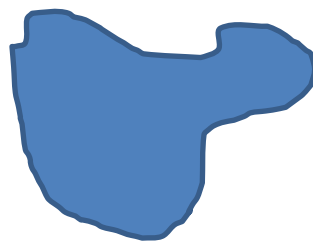
descontaminación de sitios insalubres, control de las emisiones al aire, reducción de la congestión y el uso racional del transporte, del ruido y la eliminación de residuos (Mora García L. A., 2013).

TMS: de las siglas en inglés de Sistema de gestión del transporte, es una solución para la gestión del proceso de transporte, la cual posibilita al usuario diariamente visualizar, racionalizar, simplificar, y controlar toda la operación y el costo de una manera integrada (Mora García L. A., 2011).

Reparto Capilar: Es el último eslabón de la cadena en un esquema de distribución escalonada.

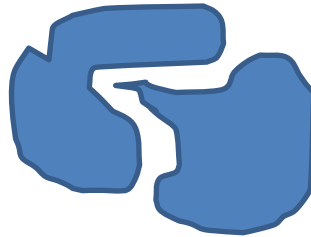
Conexo: En geometría, Un conjunto C es conexo por caminos si desde cualquier punto x del mismo se puede llegar a cualquier punto y de C recorriendo un "camino continuo" que no sale del conjunto.

Ilustración 3 – Forma plana conexa



Fuente: Propia.

Ilustración 4 – Forma plana no conexa



Fuente: Propia.

Agente, funcionario o gestor: cada una de las personas que recorre físicamente la ruta (algunos con ayuda de un vehículo) y realiza el trabajo previsto.

Ruta: Itinerario que debe seguir un agente buscando cumplir un objetivo con las restricciones geográficas propias.

Optimización de ruta: Técnica que busca aprovechar el tiempo de los agentes o funcionarios, mediante el estudio y diseño de los mejores recorridos de desplazamiento, para cumplir el objetivo, teniendo en cuenta las restricciones.

TSP: (*Traveling salesman Problem*) Dado una lista de clientes y el costo de distancias entre cada cliente. Se desea minimizar la ruta de visita a todos los clientes partiendo de un punto de origen y regresando finalmente a este mismo punto.

Grafo: Es un conjunto de objetos llamados nodos o vértices, que pueden estar unidos (conectados) por líneas llamada aristas.

Frecuencia de ruta: Intervalo de tiempo entre la realización de una ruta y otra por las mismas zonas.

Algoritmos voraces: Algoritmos que siguen un proceso secuencial en el que a cada paso toma una decisión (Abad Soriano, 2008)

Rayo: Es un condiciones básica de la geometría, donde como una línea “recta” que comienza en un punto determinado y se extiende para siempre en una dirección.

Estrategia empresarial: En el establecimiento de las rutas, se precisan estrategias a cumplir. Por ejemplo: visitar clientes con cartera mayor a 60 días, tener un número mínimo de vistas por agente, visitar puntos de determinada categoría, visitar puntos en determinados horarios, atender un mínimo de visitas por actividad, etc.

Prioridad: Dentro de la estrategia es posible que se establezcan prioridades, por clientes, zonas, valor de cartera, cuota de ventas, etc.

Restricciones del agente, funcionario o gestor: limitaciones propias que tienen que ver con la jornada laboral o limitaciones propias de la persona, horarios de trabajo.

Restricciones geográficas: Limitaciones arquitectónicas o de tráfico propias de las zonas a trabajar.

Reducción de costos: Acción de reducir el costo de las mercancías o servicios, asegurando un precio más bajo, al aminorar, por ejemplo los costos de mano de obra. (Mora García L. A., Diccionario de logística y SCM, 2009)

Costos directos: Costo variable que puede ser atribuido a un trabajo particular u operación.

Seguimiento: Control del progreso del trabajo para ver que las operaciones sean ejecutadas como se planearon o que los materiales y productos comprados, sean recibidos en el tiempo programado.

Eficiencia: Medida de la producción real para el nivel de producción esperado. La eficiencia mide que bien está funcionando algo en relación con las expectativas, no mide la producción relativa a ninguna inversión.

Balancear: Tener tiempos de trabajo aproximadamente iguales dentro de las diversas operaciones en un proceso, o en las estaciones de una línea de ensamble.

Incentivo: Gratificación o premio financiero o de otro tipo, que compensa a un trabajador por un desempeño superior o continuo sobre el normal. También es un motivante para inducir un esfuerzo superior al normal.

Logística: Es ciencia de obtener, producir y distribuir materiales y productos en el lugar apropiado y en cantidades requeridas.

Nivel de servicio: En logística de transporte es la para satisfacer la demanda y cumplir con los clientes en las fechas requeridas.

Productividad: Medida general de la capacidad para producir un artículo o servicio. Se calcula de la comparación de las entradas y salidas de recursos.

Tiempo de tránsito: Asignación estándar que es asumida en cualquier orden, para el movimiento de artículos o vehículos desde una operación hacia la próxima.

Utilización: Medida de qué tan intensamente un recurso está siendo usado para producir un bien o servicio.

Demanda independiente: Demanda por un artículo o servicio que no está relacionado con la demanda por otros.

Capacidad de planeación: Proceso de determinar la capacidad requerida para producir en el futuro.

Capacidad disponible: Es la capacidad de un sistema o recurso para producir una cantidad de producción en un período de tiempo específico.

Demanda: Necesidad de un producto, componente o servicio.

Simulación: Técnica para usar información representativa o artificial, y reproducir varias condiciones que probablemente van a ocurrir en el actual desempeño del sistema. Es usada frecuentemente para probar el comportamiento de un sistema bajo diferentes políticas operativas.

Órdenes: Una o más pedidos o servicios programados que van hacia un cliente o destino específico.

Grupo de órdenes: Acumulación de órdenes liberadas para ser recogidas

Método de transporte: Modelo que procura minimizar los costos involucrados con la aplicación de requerimientos en varios sitios, desde varias fuentes e incluyendo diferentes costos relacionados con las distintas combinaciones de recursos, y ubicación de los requerimientos.

Algoritmo: Grupo establecido de reglas o procesos bien definidos para resolver un problema en un número finito de pasos. Por ejemplo, la exposición total del proceso aritmético para calcular el punto de reorden.

Base de datos: Información guardada en una computadora en forma legible, usualmente indexada o clasificada en una orden lógica por la cual los usuarios pueden encontrar un artículo en particular, o la información que necesitan.

Ciente interno: Público objetivo (persona o departamento) de la producción de otra persona o departamento (producto, servicio o información) dentro de una organización.

Minería de datos: El análisis de información de base de datos; esto implica generalmente identificar información específica de producto y códigos, limpieza de datos y reformato.

Nivel cumplimiento despacho: Consiste en conocer el nivel de efectividad de los despachos de mercancías o servicios a los clientes en cuanto a los pedidos enviados o servicios despachados en un periodo determinado.

Destinatario: La persona a la que se le envían mercaderías, según lo estipulado en el correspondiente contrato o se le realizan visitas postventas.

Autopista: De acuerdo al artículo 2° del Código Nacional de Tránsito. Ley 769 del 2002, se define como: vía de calzadas separadas, cada una con dos (2) o más carriles, control total de acceso y salida, con intersecciones en desnivel o mediante entradas y salidas directas a otras carreteras y con control de velocidades mínimas y máximas por carril.

Vehículo: Todo aparato montado sobre ruedas que permite el transporte de personas, animales o cosas de un punto a otro por vía terrestre pública o privada abierta al público.

Motocicleta: Vehículo automotor de dos ruedas en línea, con capacidad para el conductor y un acompañante.

Placa: Documento público con validez en todo el territorio nacional, el cual identifica externa y privativamente un vehículo.

Vía: Zona de uso público o privado, abierta al público, destinada al tránsito de vehículos, personas y animales.

Calculador de rutas: También denominado planificador de rutas. Se refiere a programas informáticos que ayudan a buscar el camino entre un punto de inicio y otro de destino. Además, suelen calcular los costes derivados de la conducción y poseen numerosas funciones adicionales, ejemplo, la posibilidad de calcular la ruta más corta en cuanto a tiempo o distancia. (Timocom, 2018)

Planificación de itinerarios: Hace referencia a la organización de los pedidos de transporte (ya sea de forma manual o con un software de planificación de itinerarios). Los encargos se distribuyen en los vehículos de forma que se puedan minimizar los costes y el tiempo para los trayectos.

Transporte terrestre: El transporte por carretera, ferrocarril, periférico, urbano o regional se consideran transportes terrestres.

Sistema de gestión de transporte: es una herramienta para los agentes de transporte. Con el sistema de gestión de transporte, el agente puede tramitar y trabajar las órdenes de transporte que recibe de la empresa. Con ello, los viajes y rutas pueden planearse y

organizarse mejor. De esta forma, podrá ver en cualquier momento la disponibilidad de los vehículos.

Crédito: Contrato por el cual una persona física o jurídica obtiene temporalmente una cantidad de dinero de otra a cambio de una remuneración en forma de intereses. Se distingue del préstamo en que éste sólo se puede disponer de una cantidad fija, mientras que en el crédito se establece un máximo pudiendo utilizar el porcentaje que se desee. (Morales Castro, 2014)

Interés: Retribución que se paga o recibe por utilizar o prestar una cierta cantidad de dinero por un período de tiempo determinado. Se calcula como un porcentaje de la cantidad prestada, incluyendo, asimismo, el factor de inflación y la rentabilidad esperada.

Cobranza: Gestionar y hacer el cobro de los créditos a favor de la entidad, administrar y controlar la cartera de clientes que garantice una adecuada y oportuna captación de recursos.

Riesgo: En el ámbito financiero se define como la incertidumbre relativa al resultado futuro.

Fiadores: Son las garantías personales que se exigen cuando el solicitante del crédito demuestra no tener capacidad para recibir un monto determinado.

Créditos vencidos: Son los créditos que no han sido cancelados o amortizados por los obligados en la fecha de vencimiento y que contablemente son registrados como vencidos.

Créditos vigentes: Créditos otorgados en sus distintas modalidades, cuyos pagos se encuentran al día, de acuerdo con lo pactado. La transferencia de los créditos no pagados se realiza de acuerdo a lo señalado en la definición de créditos vencidos.

Heurística: estrategia, método, criterio o proceso usado para hacer más sencilla la solución de problemas específicos difíciles.

Meta-heurística: método heurístico para resolver un tipo de problema computacional general, usando los parámetros dados por el usuario sobre unos procedimientos genéricos y abstractos de una manera que se espera eficiente.

La mayoría de conceptos pertenecen a proyectos aplicados en la industria, debido al enfoque del presente proyecto. De igual forma, se tomó información conceptual de estados del arte de problemas de ruteo.

2.3. Marco Teórico

Se plantean elementos teóricos relacionados con las distintas características que componen el problema del ruteo de vehículos.

2.3.1. El problema de ruteo de vehículos:

El problema de distribución desde depósitos a usuarios o consumidores juega un papel preponderante en la gestión de algunos sistemas de transporte y su adecuada planificación, dado que el costo es proporcional a la cantidad de combustible utilizado y a su vez el combustible es proporcional a la distancia recorrida, se hace necesario estudiar la forma en el que ordenamos las rutas de visitas a clientes para minimizar la distancia recorrida y así su costo asociado.

El problema de ruteo de vehículos está clasificado dentro de los problemas combinatorios del área de investigación de operaciones. La solución de este tipo de problemas crece exponencialmente en la medida que crecen la cantidad de nodos o clientes a visitar.

El problema del ruteo de vehículos consiste a grosso modo, en determinar un conjunto de rutas que minimicen los costos de un conjunto de vehículos, teniendo en cuenta un conjunto de clientes y depósitos que se hayan esparcidos geográficamente.

Los clientes: Usualmente son los elementos objetos de visitas, tenemos que cada cliente tiene una demanda que debe ser satisfecha por al menos uno de los vehículos.

Los depósitos: Tenemos que para la gestión de transporte, los depósitos almacenan los vehículos y en algunas ocasiones el producto o herramientas y materiales en el cual deben ser transportados en los vehículos.

Los vehículos: son los elementos que se desplazan desde los depósitos hacia los clientes con el objetivo de satisfacer la demanda,

- ✓ **Características en procesos de recuperación de cartera vencida:** En el caso que estudia este proyecto de asignación y balanceo de rutas (Bernal Segura, 2013)

para procesos de recuperación de cartera vencida, se tiene que:

Características clientes

1. La demanda de cada cliente es homogénea, porque el objeto de la visita es entregar una notificación impresa en una hoja de papel bond tamaño carta a cada cliente.
2. Cada cliente debe ser visitado una vez por día, si el cliente tiene varias notificaciones, éstas deben ser entregadas al tiempo.

Características depósitos

1. Las cartas impresas se encuentran en un mismo depósito en donde se realiza el proceso de impresión, esto corresponde por lo general al punto de encuentro con su jefe inmediato. (Miguel, 2015)
2. Se exige que cada ruta empiece en el depósito y se espera que finalice en este mismo depósito, esto se debe a que los gestores que conducen los vehículos

deben digitar en un computador el resultado de gestión de cada una de las visitas.

3. Los depósitos no tienen restricciones de generación de cantidad de impresiones de notificaciones, porque actualmente, las compañías cuentan con impresoras láser con buena calidad de impresión y con una velocidad superior a 38 páginas por minuto.

Características vehículos

1. Los vehículos son motocicletas, la cantidad de cartas a transportar no es una restricción dominante en el sistema porque fácilmente un vehículo podría transportar 1000 cartas, pero no podría realizar esta misma cantidad de visitas. Es decir, la restricción se debe a la capacidad para movilizarse de un punto a otro.
2. La cantidad de vehículos en esta investigación es una variable de entrada, y no una variable de decisión, porque previo a hacer la corrida del programa de rutas podemos fácilmente determinar cuánto es la cantidad de vehículos disponibles.
3. Regulaciones legales: Las restricciones de movilidad vehicular fueron implementadas en algunos municipios de Colombia, con el objetivo de racionar el uso de las vías públicas ante una demanda excesiva, para el caso de las motocicletas, se encuentran con dos grandes medidas: el día sin moto el pico y placa. Estas medidas son aplicadas comúnmente dependiendo del número de

placa del vehículo por la secretaría de tránsito y seguridad vial de cada municipio mediante resoluciones.

4. Se sugiere realizar una ruta por vehículo en el período de diario de planificación.

Clasificación de las heurísticas para resolver el VRP

Se dividen en tres tipos: de dos fases, de construcción y de mejora iterativa. (Toro Ocampo, 2016)

- **Heurísticas de dos fases**

De este tipo se tiene la de Asignación primero y ruteo después, Ruteo primero y asignación después e inserción en paralelo

- **Asignar primero, rutear después:** En esta metodología se busca generar grupos de puntos en un mapa que pueden ser clientes, que se encuentran en una misma ruta en la solución definitiva. Luego para cada grupo se genera una secuencia de visitas de todos los puntos. Un ejemplo de esta metodología es el clásico algoritmo de barrido que consiste en zonas mediante rayos que tienen como centro el deposito
- **Rutear primero, asignar después:** En esta metodología se busca generar una ruta gigante tomando todos los clientes y resolviendo primero el problema del agente viajero (TSP), luego se divide teniendo en cuenta las restricciones de capacidad de cada vehículo.

- **Heurísticas de construcción**

- **Método del ahorro:** El método de ahorro tiene dos versiones principales, la paralela que es en la cual se trabaja con todas las rutas simultáneamente y la secuencial, que es en la que una ruta es construida a la vez.

Algoritmo de ahorros versión paralela:

Paso 1. (Inicialización) Para cada cliente i construir la ruta $(0, i, 0)$.

Paso 2. (Cálculo de los ahorros). Calcular S_{ij} para cada par de clientes i y j .

Paso 3 (mejor unión). Sea $S_{i^*j^*} = \max S_{ij}$, donde el máximo se toma entre los ahorros que no han sido considerados aún. Sean R_{i^*} y R_{j^*} las rutas que contienen respectivamente a los clientes i^* y j^* . Si i^* es el último cliente de R_{i^*} y R_{j^*} es factible, combinarlas. Elimina $S_{i^*j^*}$ para rutas futuras. Si quedan ahorros por examinar ir al paso 3 sino terminar.

Algoritmo de ahorros versión secuencial:

Paso 1. (Inicialización) Para cada cliente i construir la ruta $(0, i, 0)$.

Paso 2. (Cálculo de los ahorros). Calcular S_{ij} para cada par de clientes i y j .

Paso 3 (selección). Si todas las rutas fueron consideradas terminar. Si no, seleccionar una ruta que no haya sido tenido en cuenta.

Paso 4 (extensión). Se tiene $(0, i, \dots, j, 0)$ la ruta actual si no se tiene ningún ahorro conteniendo i o j , ir a paso 3. Se tiene Sk^*i el máximo ahorro conteniendo a i . Aplica igualmente para j . Si k^* es el último cliente de su ruta.

- **Algoritmos de mejora iterativa**

Se refiere a procedimientos que apuntan al mejoramiento de rutas, que han sido generadas previamente por una metodología.

El λ -intercambio se refiere a movimientos en una ruta y consiste en eliminar arcos de la solución donde λ debe ser mayor que 1 y se procede a conectar las subrutas restantes.

VRP (vehicle routing problem)

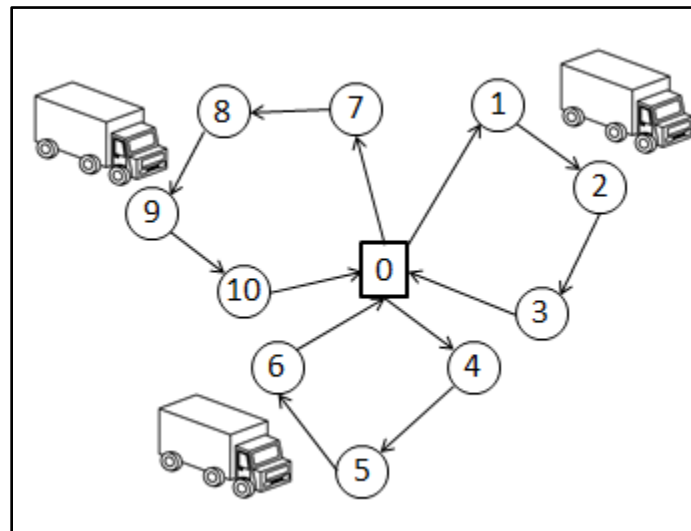
El problema de enrutamiento de vehículos es un problema complejo de optimización combinatorio, constituye un problema de transporte que consiste en asignar a un número de vehículos y las rutas que seguirán cada uno de estos vehículos con el fin de visitar una serie de clientes. El objetivo es minimizar el costo de transportar de estos vehículos.

Extensiones del problema VRP

- **CVRP (Capacited vehicle routing problem)**

Problema de ruteo de vehículos considerando restricciones de capacidad.

Ilustración 5 – Representación gráfica CVRP

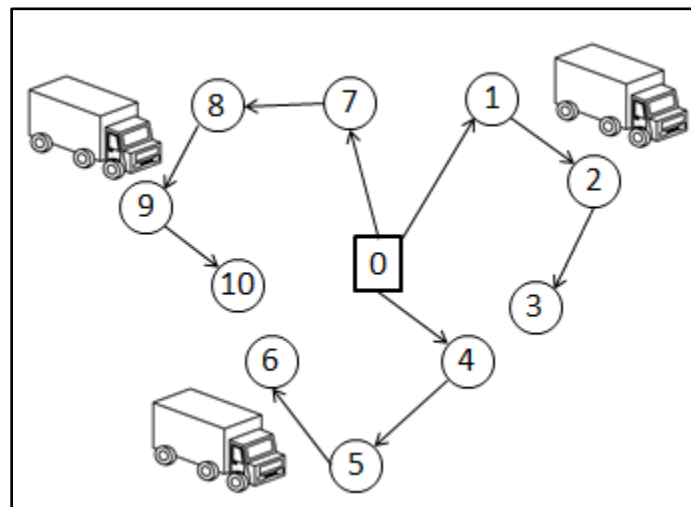


Fuente: Propia.

- **OVRP (open vehicle routing problem)**

Problema de Ruteo sin retorno al depósito.

Ilustración 6 – Representación gráfica OVRP

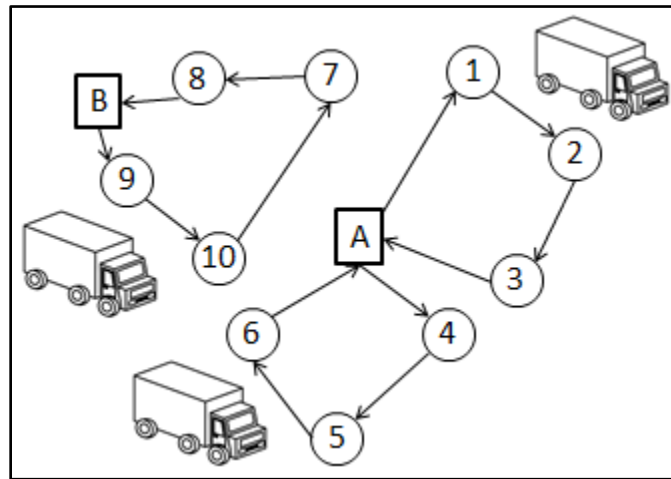


Fuente: Propia.

- **MDVRP (Multi-depot vehicle routing problem)**

Problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos.

Ilustración 7 – Representación gráfica MDVRP

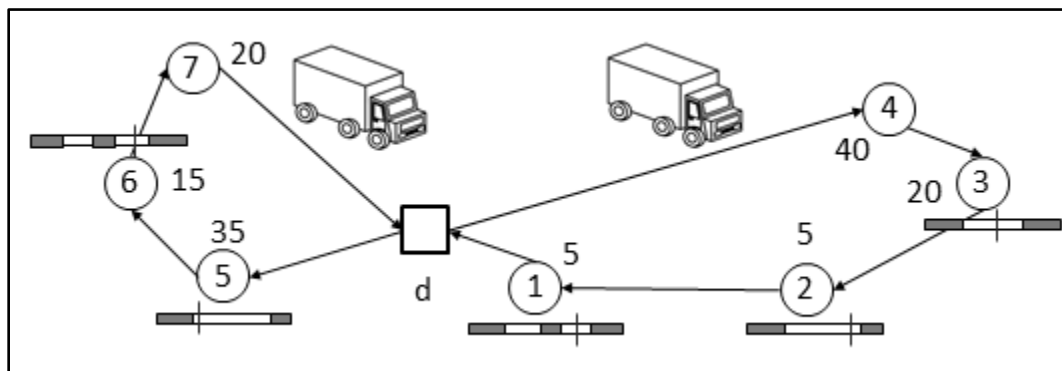


Fuente: Propia.

- **CVRPTW (Multi-depot vehicle routing problem)**

Problema de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad que considera ventanas de tiempo (períodos fijos durante los cuales se puede realizar la visita a los clientes).

Ilustración 8 – Representación gráfica CVRPTW



Fuente: Propia.

El presente trabajo de grado es el desarrollo de una heurística clasificada como de dos fases, tipo “Asignar primero, generar rutas después”.

2.3.2. Modelo de asignación y balanceo de rutas

Modelo de asignación y balanceo de rutas es una heurística desarrollada en el presente proyecto de grado, donde se asigna a un grupo de gestores, una cantidad heterogénea de cartas para ser entregados a unos determinados clientes ubicados en un mismo departamento. El modelo será implementado en el lenguaje de programación Visual Basic[®] con el fin de determinar el tiempo de solución de problemas con 1000 clientes y 10 gestores. La prueba piloto se realizó en la empresa Muebles Jamar, el cual asigna y balancea rutas de trabajo a los empleados encargados del cobro y gestión de cartera.

2.3.3. Campos de aplicación:

De manera preliminar y exploratoria este problema lo podrían tener compañías que se dedican a repartir impresos con suscripción o sin suscripción, visitas a domicilios

(para labores comerciales de mercadotecnia o cartera), cuadrillas de mantenimiento, corte y reconexión de servicios públicos, distribución de productos alimenticios (Requenes, 2012), recolección de residuos sólidos (SEDESOL, 1997) (Arana, 2015) (Marquez, 2010), entre otras.

2.4. Marco Espacial

El presente proyecto se desarrolló para rutas de transporte para la ciudad de Barranquilla y su área metropolitana.

2.5. Análisis Bibliográfico

Se tomó de 18 artículos científicos, proyectos aplicados a la industria, estados del arte, proyectos de investigación en ciencias, tesis de maestría y doctorales, los aspectos más relevantes en una investigación:

- Nombre del documento
- Autor
- Año
- Tipo de documento
- Palabra claves

A partir de la información de cada artículo se establecieron comentarios generales de cara a la presente investigación, finalizando con una conclusión sobre el enfoque planteado por cada autor, el alcance, la pertinencia con respecto a la época y el aporte a proyectos de balanceo y asignación de rutas.

Tabla 1 - Revisión bibliográfica- Parte A

ID	Nombre del documento	Autor	Año	Tipo de documento	Palabras claves	Comentarios Generales	Conclusión
1	Características del diseño de rutas de distribución de alimentos en el Valle de Aburrá	Andres Felipe Correa, Héctor Manuel Gómez, Jhon Fredy Loaiza, Diana Catalina Lopera, Juan Guillermo Villegas.	2008	Artículo Revista No. 45. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia,	Ruta Diseño de rutas Distribución	El artículo, plantea y desarrolla el problema de las rutas tradicionales elaboradas con base en el conocimiento empirico de los funcionarios versus utilizar herramientas tecnologicas, que incorporen varias de casos similares, pero al mismo tiempo que tenga en cuenta variables locales y revisa el tema de lo que en materia de costos significa la implantación de plataformas tecnologicas. Este costo es definitivo a la hora de la estructura de costos para el establecimiento del precio de los productos	Es un desarrollo similar al presente proyecto y aporta en la creación del Marco Teórico y desarrollo del trabajo
2	Optimización de redes de actividades	Jorge Alejandro Roman, Fernanda Cid Contreras; Alvaro Omar Romano	NA	Artículo Instituto Nacional de Mejico	Redes Administración de recursos	El enfoque del documento es la administración de los recursos: Tiempo, costo y realización para la optimización del desarrollo de un proyecto	No posee enfoques que aporten al proyecto.
3	Programación de rutas y asignación de aeronaves	Miquel Rius Carmona	2015	Tesis de grado Universidad de Barcelona	Rutas Asignación. Programación	Se enfocan dos problemas, asignación de rutas y establecimiento de flotas	Aunque tiene enfoque completo al comportamiento del proyecto aereo, se revisara el modelo en aras de establecer oportunidades de mejora para el modelo de referencia a desarrollar
4	Redes de distribución	Estrada, M	2007	Articulo	Redes de distribución Redes Distribución	Se plantea el problema de la consolidación y optimización de rutas para obtener economias de escala logrando beneficios tecnicos y de costos	No aporta enfoques al proyecto, su alcance es diferente
5	Modelo de ruteo para entregas de mercancías a clientes por terceros en sector retail	Bernal Segura, Luis Alexander	2013	Artículo Universidad Militar Nueva Granada	Asignación de rutas Ruteo Optimización	Revisión general de varios modelos de ruteo en transporte	Este documento servirá en el desarrollo de la etapa metodologica de revisión de otras metodologías de ruteo
6	Optimización de rutas	Geoconcept	NA	Software	Software para optimizar rutas	Optimización de rutas con georeferenciación	Servirá para la etapa metodológica de la revisión de las alternativas de georeferenciación

Fuente propia

Tabla 2 - Revisión bibliográfica- Parte B

ID	Nombre del documento	Autor	Año	Tipo de documento	Palabras claves	Comentarios Generales	Conclusión
7	Diseño y selección de un sistema de distribución y suministro	Rodriguez, Fernando	2007	Tesis de Grado Lenroc Plastic Corporation	Asignación de rutas Rutas Distribución	Con base en el software WLD - Warehouse location designer, de la Universidad de Cornell de New York, se explica el diseño de un sistema de distribución física de productos	Aunque este proyecto, no tiene alcance de la distribución física de productos, se utilizar el documento para comparar el modelo de referencia a desarrollar en la fase compatible, en busca de mejoras
8	Diseño de rutas de transporte terrestre para el personal operativo nocturno de la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla.	Ardila, Carlos Perez, Leydis	2015	Tesis de Grado Universidad de la Costa	Asignación de Ruteo Problea de agente viajero TSP Problema de ruteo vehicular VRP	Resuelve un caso practico utilizando las metodologias TSP y VRP, incorpora variables nuevas del entorno propio de los trabajadores de la Sociedad Portuaria de Barranquilla	El caso se tendrá en cuenta para incorporar buenas practicas y establecer oportunidades de mejora al modelo a desarrollar
9	Diseño de un modelo para la asignación y ruteo de bombas estacionarias desde las plantas de concreto de HOLCIM (COLOMBIA) S.A, Zona Bogotá	Gonzalez, Jahir Teran, Luis	2010	Teis de grado de Especialización. Universidad Militar Nueva Granada	Asignación de rutas Ruteo Optimización Heurística	El modelo resuelve un problema de asignación de rutas y plantas en un caso practico de camiones de cemento, incorporando variables propias del entorno de la compañía	El caso se tendrá en cuenta para incorporar buenas practicas y establecer oportunidades de mejora al modelo a desarrollar
10	Diseño modelo para la asignación de rutas TURISTRAN LTDA, caso de uso Terra Ferme S.A	Diaz, Julieth	2016	Tesis de Especialización. Univesidad Francisco Jose de Caldas	Asignación de rutas Ruteo Optimización	El modelo resuelve un problema de asignación de rutas para transporte de pasajeros, incorporando variables locales	El caso se tendrá en cuenta para incorporar buenas practicas y establecer oportunidades de mejora al modelo a desarrollar
11	Modelo de ruteo de cuadrillas de suspensión y reconeión de cuadrillas de energía en Bogotá	Alejandro Salamando Ramirez, Universidad de la Sabana	2011	Tesis de Maestria. Universidad de la Sabana	Asignación de rutas Ruteo Optimización	El modelo resuelve un problema de asignación de rutas para cuadrillas de corte, reconexión y mantenimiento de energía electrica, atendiendo 2.000 clientes por día, haciendo dos fases: clustering y asignación de rutasutilizando varias metodologías entre ellas el VRP. Al final se obtuvieron mejoras en los tiempos de un 22%	El caso se tendrá en cuenta para incorporar buenas practicas y establecer oportunidades de mejora al modelo a desarrollar
12	Algoritmos voraces	María Teresa Abad Soriano, Faculta de Informatica UPC	2008	Artículo Facultad de Informatica, UPC	Algoritmos Algoritmos voraces	Se plantea la resolución de problemas mediante algoritmos voraces, llegando al planteamiento de los modelos de optimización.	Va más allá del alcance de este proyecto.

Fuente propia

Tabla 3 - Revisión bibliográfica- Parte C

ID	Nombre del documento	Autor	Año	Tipo de documento	Palabras claves	Comentarios Generales	Conclusión
13	Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el Municipio de Zarzal, Valle del Cauca	Bryan Henao Guzman y Jhonier Piedrahita Arana, Universidad del Valle	2015	Tesis de grado Universidad del Valle	Ruteo Asignación de rutas	Plantea la resolución del problema de la recolección de residuos sólidos, a través de la combinación de diferentes algoritmos como VRP y cartero Chino, que logro ahorros en costos del 18%	El caso se tendrá en cuenta para incorporar buenas practicas y establecer oportunidades de mejora al modelo a desarrollar
14	Estudio de un problema de distribución de productos alimenticios permitiendo particionar las entregas	Diana Guadalupe Salas Requenes, Universidad Nuevo León	2012	Tesis de Maestria Universidad Autonoma de Nuevo León	Ruteo Asignación de rutas	El modelo resuelve un problema de asignación de rutas para la distribución de alimentos, incorporando variables propias del entorno de la compañía, de los clientes y de la geografía	El caso se tendrá en cuenta para incorporar buenas practicas y establecer oportunidades de mejora al modelo a desarrollar
15	Cálculo y elaboración de rutas para infantes	JAMAR	2014	Manual JAMAR,	Rutas Asignación	Procedimiento para el balanceo de rutas del modelo de referencia a desarrollar	Es obligada referencia para el conocimiento del modelo de referencia
16	Recolección de rutas de residuo sólido	SEDESOL	1997	Manual SEDESOL	Ruteo Asignación de rutas	Plantea la resolución del problema de la recolección de residuos sólidos recogiendo la experiencia de oficina y campo del personal	El caso se tendrá en cuenta para incorporar buenas practicas y establecer oportunidades de mejora al modelo a desarrollar
17	Proceso de geocodificación de direcciones en la ciudad de Medellín, una técnica determinística de georreferenciación de direcciones	Vargas, Jaime Orfan, Daniel	2013	Artículo	Geocodificación Estandarización de direcciones	Estudio empírico comparativo de los diferentes procesos de geocodificación que se realiza en la Alcaldía de Medellín para la georreferenciación de información primaria	El documento será soporte para la revisión de procesos similares y compararlo con lo que utiliza el modelo de referencia a desarrollar
18	Macro y micro ruteo de residuos sólidos	Marquez, Jorge	2010	Tesis de grado Universidad de Sucre	Ruteo Asignación de rutas	Plantea la resolución del problema de la recolección de residuos sólidos recogiendo la experiencia de oficina y campo del personal	El caso se tendrá en cuenta para incorporar buenas practicas y establecer oportunidades de mejora al modelo a desarrollar

Fuente propia

De la revisión bibliográfica se cuantifica:

Tabla 4 – Resumen de Revisión bibliográfica

Tipo de proceso	Cantidad	Detalle
Proyectos aplicados a la industrial	11	1,5,7,8,9,10,13,14,15,16 y 17
Estado del arte y revisión bibliográfica	4	2,6,12 y 18
Proyectos de Investigación en ciencias, tesis doctorales y maestrías en ciencias.	3	3,4 y11

Fuente propia.

De este análisis bibliográfico que apunta a enriquecer el marco teórico y justificar el desarrollo del modelo de asignación de rutas, se concluye que:

1. El problema de enrutamiento de vehículos VRP tiene múltiple aplicaciones en la industria. Las extensiones al problema también ha sido debidamente documentadas, cada extensión al problema limita la posibilidad de solucionarlos con las heurísticas o modelos existentes.
2. Más del 60% de los proyectos estudiados para este proyecto resultan de aplicaciones a la industria. El sector empresarial se ha beneficiado por el desarrollo de nuevos modelos y en algunos casos han sido beneficiarios de fuente de financiación de proyectos a través de grupos de investigación en universidades avalados por entidades gubernamentales que promueven el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

3. El desarrollo de algoritmos se convierte hoy en día en el factor diferenciador de los profesionales en otras áreas diferentes a la ingeniería de sistemas, es así como el desarrollo de nuevas metodologías en asignación de rutas han sido desarrolladas por ingenieros civiles, industriales y profesionales de las ciencias administrativas.

CAPITULO 3

3.1. Análisis del sistema de información geográfico

En esta etapa se aborda el problema de asignación y balanceo de rutas, desde un enfoque básico de la empresa, del entorno (enmarcado en un lugar geográfico) y en comparación con otros modelos ampliamente estudiados.

3.1.1. Análisis básico de la empresa

Dentro del Análisis Básico, se determina la forma en que se ubican los clientes y como se encuentra parametrizada esta información en la base de datos de una empresa. A esto se le conoce como caracterización del modelo. En donde se identifican las variables propias de la actividad a la cual se le va a diseñar el modelo.

El doctor Mike Mauleon en su libro “Transporte, Operadores y Redes” (Mauleón Torres, 2013) define los tres aspectos principales que se deben conocer en un servicio de distribución: Calidad del servicio, costo del servicio prestado a los clientes y composición del servicio.

En la **calidad del servicio** se puede medir:

1. La frecuencia de servicio que viene a ser el número de veces por unidad de tiempo que la empresa cubre su red de transporte la zona donde están sus clientes.
2. El plazo de servicio: Período comprendido entre la emisión de la necesidad y la recepción del cliente del servicio o producto.

3. Incidencias: Corresponde a las no conformidades del servicio.

En **costo del servicio** se puede calcular el costo por km recorrido, en función del consumo de combustible y mantenimientos relacionados como cambios de aceites.

En **composición del servicio** se relaciona las características de la carga o servicio a entregar, por ejemplo, entrega de notificaciones por hora.

3.1.1.1. Ubicación de Clientes

Teniendo en cuenta los parámetros que se usan para establecer la ubicación física del cliente, se almacenan direcciones de residencia, barrio y señas, en tablas de una hoja de cálculo. Por ejemplo, para dos clientes que viven en el mismo barrio, se podría almacenar incorrectamente la dirección el barrio como “Ángeles” o como “Los Ángeles”. Es decir, los clientes no presentan unificación de la información, esto se da cuando no existe una base datos relacional, en donde, se configure un campo barrio, el cual debe limitarse a través de un cuadro de selección múltiple. El usuario no tiene un sistema que le permita introducir direcciones estructuradas, una misma dirección puede escribirse de diferentes maneras, “el problema más común es la forma como se escribe cada elemento que compone una dirección como por ejemplo el tipo de vía (Carrera, Cra, Kra, Cr, etc.).” (MEN, 2009)

Otra alternativa de la organización de la información es a través de un programa de computador que le permite administrar y organizar las direcciones de los clientes. La información presenta una jerarquía de direcciones: País – Departamento – Ciudad o

Municipio – Barrio – Dirección. Sin embargo, los clientes no tienen una coordenada geográfica que permita la representación gráfica de los clientes en un mapa satelital.

Y finalmente el estado ideal es que el usuario presenta en un sistema de posicionamiento global para la ubicación geográfica de los clientes, en donde se especifica longitud y latitud de los mismos.

3.1.1.2. Medios de movilidad

Dependiendo de las necesidades de la actividad que se vaya a ejercer, los medios de movilidad varían desde visitar a los clientes a pie, o utilizar medios auxiliares como la bicicleta, motocicleta, taxi o dependiendo del tipo de carga que se vaya a recoger o entregar la movilidad requiere de automóviles de carga como camiones, furgonetas. En esta etapa el usuario definirá sus medios de movilidad y las condiciones para seleccionar un medio u otro. En algunas ocasiones se necesitará utilizar medios multimodales.

3.1.1.3. Definición de zonas de cobertura

Dentro de las actividades de desplazamiento se definió cuáles son los límites geográficos, también denominados zona de cobertura. Los criterios para definir dichos límites geográficos son:

1. La distancia en kilómetros hacia el depósito o múltiples depósitos: Si la distancia supera cierto parámetro establecido como política, se podría tomar la decisión de no visitar la zona.
2. Tiempos de movilización hasta la zona: Estos tiempos dependen del tipo de equipo que se utilice para la movilización.

3. Vías de acceso que faciliten el ingreso a las zonas: Zonas rurales en ocasiones requieren equipos de movilidad con aditamentos especiales como llantas especiales.
4. Peligrosidad de la zona: la peligrosidad depende de problemas de orden público, como zonas históricamente con presencia de grupos armados. Barrios o sectores urbanos donde la delincuencia, con alto índice de homicidios por año con respecto a la media. Puntos críticos relacionados con hurtos a personas, vehículos, comercio, residencia y lesiones personales.
5. Relación de beneficio en dinero vs costos que implican el desplazamiento: En algunas ocasiones se puede constatar que es preferible no desplazarse hasta el cliente.

El doctor Juan Ortúzar, en su libro “Modelos de demanda de transporte” (Ortúzar, 2015) sugiere definir el número y tamaño de las zonas que se debe dividir un área básicamente en dos factores:

1. Carácter del estudio: si el municipio a zonificar tiene más de 200 mil habitantes se establecerán mayor cantidad de zonas y de menor tamaño.
2. Recursos disponibles: mayor número de zonas implica mayor exactitud, pero implica mayor tiempo.

Algunos de los criterios de zonificación que aplican en el desarrollo de este proyecto son:

1. La zonificación debe ser compatibles con otras divisiones administrativas, por ejemplo, se debe tener en cuenta para la generación de zonas el concepto de agrupación de barrios por localidades y comunas que tienen las ciudades principales en Colombia.
2. Las zonas deben ser homogéneas en cuanto al uso del suelo y la composición de la población. Deben ser compatibles con estudios anteriores a nivel de la secretaría de planeación distrital de cada municipio.
3. Las zonas pueden tener como límites las arterias importantes de la red vial primaria.
4. El centroide de cada zona debe ser poblacional y no geográfico.

3.1.2. Análisis del entorno geográfico de la ciudad

Dentro del Análisis Entorno, se revisa la movilidad, las características de las vías de las zonas de cobertura que se la va a diseñar el modelo, determinado la forma que se ubica la población y como se encuentra parametrizada esta información.

Las vías se clasifican según su funcionalidad en primarias, secundarias y terciarias (INVIAS, 2008). Para objeto del análisis de este modelo es clave conocer que las vías primarias presentan rápida movilidad en puntos extremos de la ciudad, es decir, pueden comunicar el norte con el sur a través de una vía que divida al municipio o bordear al municipio a través de una vía tipo circunvalar. A pesar de ser vías que se pueden tomar a alta velocidad, encontramos que en ocasiones existen barreras naturales como separadores, que dificultan el traslado de un vehículo de un lado al otro de la vía, esto debe hacerse a través de un round point. Se restringirá en la heurística la asignación de dos zonas divididas por esta vía principal, definiendo cuales zonas tienen esta limitación es vital para el presente modelo.

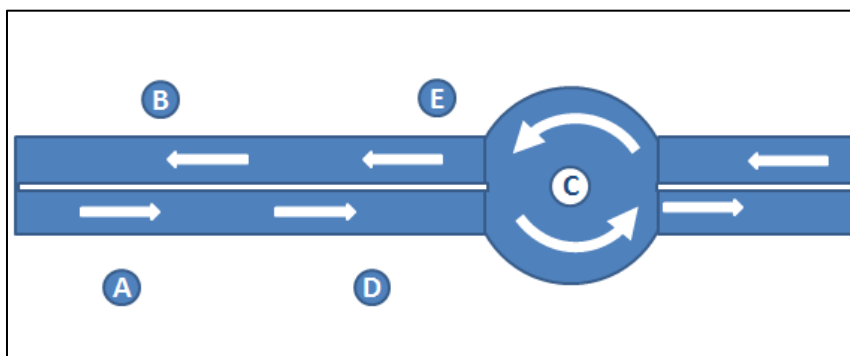


Ilustración 9- Ejemplo Área de estudio.

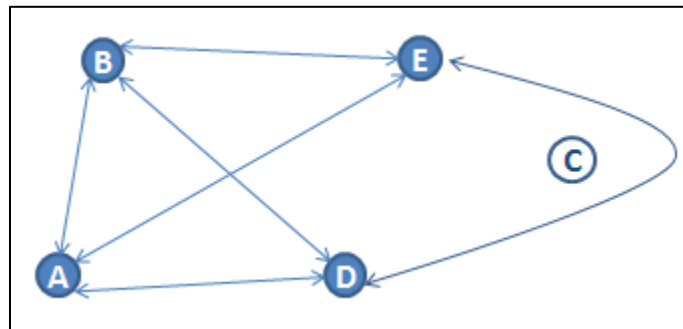
En la ilustración 9, se debe visitar al cliente B, tomando como punto de inicial el cliente en A. Condición obligatoria pasar por el *round point* en C. Se tiene que la vía principal presenta la restricción de movilidad de personas y vehículos por la existencia de separadores.

Las vías secundarias tienen mayor flexibilidad para el desplazamiento de un punto a otro, permiten hacer conexiones entre barrios. Sin embargo, tienen menor cantidad de carriles, los que reduce el flujo, además, de las restricciones de tiempo por tener limitaciones dado restricciones viales como señales de Pare, reductores de velocidad, además, en algunas ocasiones, no reciben mantenimiento constantes como las vías principales.

Ahora bien, éste análisis de desplazamiento de vías permite reducir el espacio de soluciones, descartando el arco DA y limitando dicho espacio de soluciones al incluir el arco AD porque por restricción de movilidad no es posible devolverse de D a A, dado la configuración de ésta vía principal en particular.

Ahora, si contemplamos las posibles soluciones de este grafo, tenemos que por exploración completa factorial de n ($n!$), es decir, que para un sub-grafo de 4 vértices, el espacio de solución es de 24 opciones posibles.

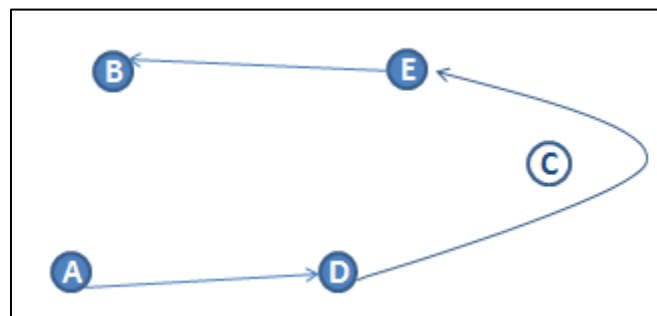
Ilustración 10- Red simplificada: soluciones posible con 4 clientes



Fuente: Propia.

Ahora incluyendo restricciones de movilidad por barreras geográficas tenemos que el arco bidireccional BD y AE quedan descartados por no ser soluciones factibles a este problema. El nuevo grafo se limita a la solución dirigida: A-D-E-B, tal como presenta muestra a continuación:

Ilustración 11- Reducción del espacio de soluciones.

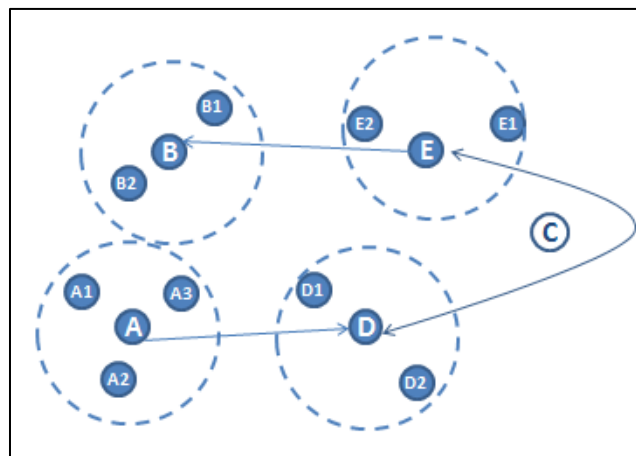


Fuente propia

Este proceso de vinculación de restricciones para reducir el espacio es sectorizado, es decir, se divide el espacio total en zonas menores, en donde se procede a determinar cuáles soluciones (arcos) son técnicamente no viables. Este procedimiento es estudiado por los doctores Arnaud Banos y Thomas Thevenin en su libro “Geographical information and urban transport systems” (Banos, 2011), aquí se

presenta una simplificación de problemas de zonas a través de grafos en donde cada nodo representa la demanda y los arcos representan las opciones de movilidad de un nodo a otro. Ahora bien, al reducir el espacio de soluciones de un problema considerado en la literatura como NP-duro, permite resolverlo en un tiempo computacionalmente considerable, mediante un algoritmo de convergencia polinómica. Este análisis por sectores, es la base fundamental del diseño de la heurística del presente proyecto. La base del modelo consiste en determinar una ruta maestra en función de los centroides de cada clúster y definir luego los recorridos inter-clúster.

Ilustración 12- Detalle de clientes por clúster.



Fuente: Propia.

Ahora bien, la ruta maestra proveniente del centroide de cluster corresponde a A-D-B-C, tenemos que el clúster A está conformado por los clientes A1, A2 y A3. De igual forma el clúster D por los clientes D1 y D2. La inclusión de la ruta va en función de encontrar cuales clientes del clúster A (primer clúster) está más alejado del centroide clúster D, hasta incluir los clientes del nodo A respetando la restricción de capacidad.

Luego se procede a incluir el clúster D (segundo clúster) encontrando la mínima suma de las distancias entre cualquier cliente D y los centroides A y E (anterior y posterior al centroide).

3.2. Benchmarking de Metodologías: Pruebas de Tracking

El presente proyecto es comparado con una metodología ampliamente conocida en el ámbito de la solución de problemas de rutas (Algoritmo de Barrido) y tiene en cuenta la forma de construcción de soluciones del Algoritmo Clarke and Wright

3.2.1. Metodología de barrido

En esta heurística los clústeres se forman girando un rayo con origen en el depósito e incluyen uno a uno los clientes tocados por dicho rayo, hasta un punto antes de que se viole la restricción de capacidad.

El algoritmo es el siguiente:

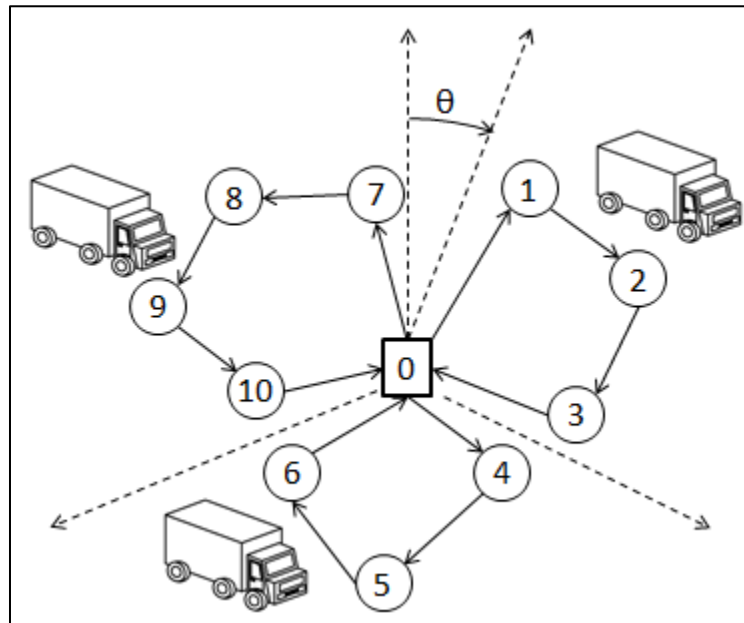
Paso 1 (Inicialización). Ordenar los clientes según el ángulo de manera creciente (o decreciente). Si dos clientes tienen igual valor de ángulo, se coloca primero el de menor distancia al depósito. Hasta generar la lista de W clientes: 1,2, ..., W .

Paso 2 (Selección) Si todos los clientes pertenecen a algún clúster, se va al paso 3. Si no, se selecciona al cliente siguiente, si puede agregarse a la lista C_k sin violar la restricción de capacidad, se incluye éste cliente en la lista C_k , sino se incrementa k en 1 y se incluye en la lista C_{k+1} .

Paso 3 (Optimización) Para cada clúster C_k se puede resolver mediante la solución de un TSP.

Para la mayoría de casos este tipo de soluciones las rutas obtenidas no se cruzan.

Ilustración 13- Solución obtenida mediante el algoritmo de barrido.



Fuente: Propia.

Se realiza captura de información proveniente de las coordenadas de rutas tomadas por el usuario de la metodología de forma autónoma, en donde se compara la meto TSP: Dado una lista de clientes y el costo de distancias entre cada cliente. Se desea minimizar la ruta de visita a todos los clientes partiendo de un punto de origen y regresando finalmente a este mismo punto. Metodología libre utilizada por dos o tres gestores que cubran una misma zona en días diferentes. Se revisan las mediciones y se recopilan para la configuración posterior de clusters de zonas y rutas maestras. Se

realiza la captura de información a través de aplicaciones gratuitas para android de monitoreo y tracking.

Se tabula para cada prueba realizada las variables: distancia recorrida, tiempo implementado, velocidad promedio, tiempo en marcha, área cubierta, tipo de vehículo o medio de movilización, horarios de inicio y finalización, tipo de actividad a realizar. Estos datos servirán como punto de partida para mejora de indicadores de productividad una vez se realicen la prueba piloto con la implementación de la metodología expuesta en el presente documento.

3.2.2. Metodología de ahorros de Clarke and Wright

Ésta heurística se basa en la generación de ahorros a medida que se incluyen nodos a una ruta inicial, a continuación, presentaremos la versión secuencial los clústeres se forman girando un rayo con origen en el depósito e incluyen uno a uno los clientes tocados por dicho rayo, hasta un punto antes de que se viole la restricción de capacidad.

El algoritmo es el siguiente:

Paso 1 (Inicialización). Ordenar los clientes según el ángulo de manera creciente (o decreciente). Si dos clientes tienen igual valor de ángulo, se coloca primero el de menor distancia al depósito. Hasta generar la lista de W clientes: 1,2, ..., W .

Paso 2 (Selección) Si todos los clientes pertenecen a algún clúster, se va al paso 3. Si no, se selecciona al cliente siguiente, si puede agregarse a la lista C_k sin violar la

restricción de capacidad, se incluye éste cliente en la lista C_k , sino se incrementa k en 1 y se incluye en la lista C_{k+1} .

Paso 3 (Optimización) Para cada clúster C_k se puede resolver mediante la solución de un TSP.

3.3. Formulación

Con base al análisis básico, análisis del entorno y la revisión de otras metodologías de balanceo, se formula el modelo de balanceo y asignación de rutas terrestres objeto de este proyecto. El problema se simplifica generando áreas que agrupan varios clientes, de tal forma que el espacio de soluciones se limita a resolver el problema de enrutamiento de vehículos con menor cantidad de nodos y por lo tanto mayor velocidad para alcanzar una solución factible.

3.3.1. Algoritmo propuesto

El presente algoritmo se divide en un primer paso, donde se establece mediante un sistema de coordenadas la posición del origen y las posiciones de destinos de carga. En la segunda etapa se reduce la cantidad de soluciones creando zonas conexas que agrupan las posiciones de destino. En la tercera etapa, se resuelve el problema de enrutamiento por zonas, determinando los centroides de dicha zona y considerando estos centroides como los destinos de carga. En la cuarta etapa, se generan rutas para los clientes de cada zona, se genera una ruta única donde se une el último cliente de cada zona con el primer cliente de cada zona. Y finalmente, se procede a dividir

teniendo el orden establecido en la etapa anterior y la capacidad de cada vehículo. El algoritmo queda de la siguiente forma:

Etapa 1. Preparación de datos y elaboración de ruta maestra

Paso 1.1. Defina el área de estudio en un sistema de coordenadas. Establezca un depósito en el sistema de coordenadas

Paso 1.2. Divida el área de estudio en n -zonas conexas, que permita la movilidad entre cualquier par de puntos.

Paso 1.3. Establezca el centroide para cada zona. Se sugiere el cálculo del centroide como el promedio de la las latitudes (y longitudes) máxima y mínima:

$$\text{Lat } C_k = (\max (\text{Lat}_{1k}, \text{Lat}_{2k}, \dots, \text{Lat}_{mk}) + \min (\text{Lat}_{1k}, \text{Lat}_{2k}, \dots, \text{Lat}_{mk})) / 2$$

$$\text{Lon } C_k = (\max (\text{Lon}_{1k}, \text{Lon}_{2k}, \dots, \text{Lon}_{mk}) + \min (\text{Lon}_{1k}, \text{Lon}_{2k}, \dots, \text{Lon}_{mk})) / 2$$

Para todo $k / k \in \{1, 2, \dots, n\}$

Paso 1.4. Genere un camino hamiltoniano considerando cada centroide como a un cliente y teniendo en cuenta las restricciones de movilidad de la ciudad. Genere una lista- α ordenada del recorrido para ésta solución: $Z_0, Z_1, Z_2, \dots, Z_n$. Tome Z_0 como el depósito.

Etapa 2. Corrida de algoritmo

Paso 2.1. Calcule la distancia para cada cliente perteneciente a Z_k como la suma de la distancia del cliente C_{ik} de la Zona k (Z_k) hasta el centroide Z_{k-1} y Z_{k+1} , con k variando de $k = 1, 2, \dots, n-1$ para la última zona Z_n calcule la distancia para cada cliente hasta hasta el centroide Z_{k-1} .

Paso 2.2. Establezca una lista β , ordenandp la lista lista α , teniendo en cuenta:

1. La distancia calculada en el paso 5
2. El orden de la zona α la que pertenece cada cliente C_{ik}

Paso 2.3. Asigne cada cliente en orden de lista β a un vehículo p , respetando la restricción de capacidad C_p .

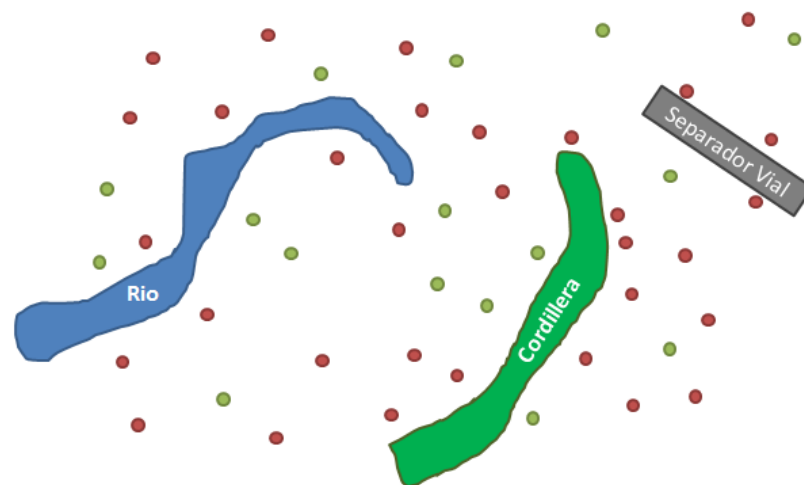
Paso 2.4. Repita el paso 7 hasta completar la lista β

3.3.2. Selección de clústeres

Los clústeres o agrupaciones de clientes se definen con base en la revisión bibliográfica, agrupados en tres aspectos fundamentales:

1. No existencia de barreras artificiales y naturales. Separaciones artificiales: vías principales, construcciones de gran área como batallones y campus universitarios no divididos, acueductos, terrenos sembrados. Separaciones naturales: cordillera, cerro, laguna, rio, mar o cualquier otro accidente geográfico que limite la movilidad o la reduzca a pasillos, puentes, y mecanismos auxiliares como teleféricos.

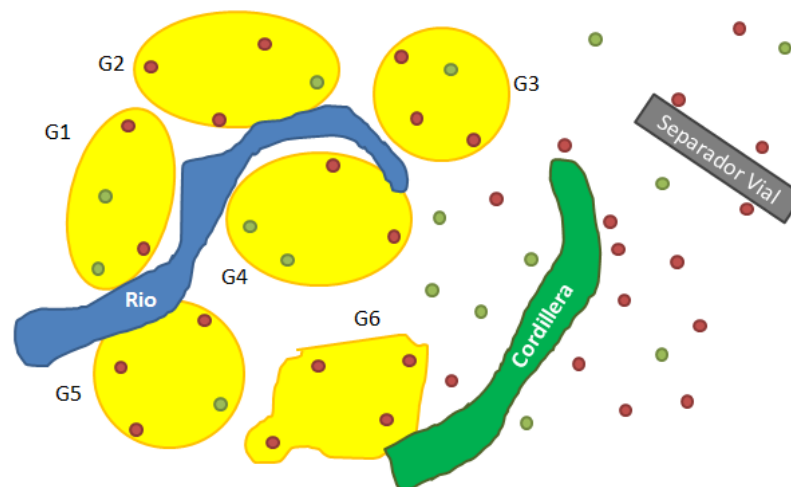
Ilustración 14- Representación gráfica de Barreras en un mapa.



Fuente: Propia.

2. Cercanía de clientes de un barrio a otro: esta cercanía se mide desde el punto medio del primer barrio, hasta el punto medio del otro barrio, apoyándose en sistema de coordenadas geográficas WGS84.
3. Frecuencia de clientes en estos barrios o sectores del municipio a estudiar: Si en un sector se presenta mayor cantidad de clientes, se procede a dividir este sector en varios clústeres, de igual forma, sectores poco poblados, se les asignará mayor cantidad de área por lo tanto mayor cantidad de barrios por clúster.

Ilustración 15- Configuración de clústeres.



Fuente: Propia.

3.3.3. Configuración de parámetros

3.3.4. Trazos de rutas maestras a mano alzada

En esta etapa se imprimirá un mapa en tamaño al menos tabloide (A3) de la zona a estudiar. Con base en la configuración de clústeres, y establecimiento de las barreras naturales y artificiales, generará un circuito único en el cual se visitaran todos los clústeres una sola vez, este circuito es denominado camino Hamiltoniano en la teoría de grafos.

3.3.5. Verificación de rutas a través de geocodificación

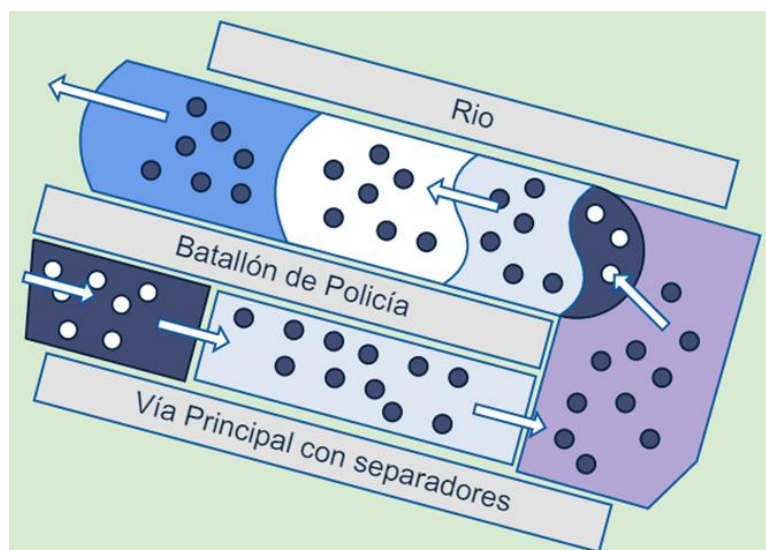
En esta etapa, con ayuda de un programa informático que permita visualizar cartografía (Vargas, 2013) y mostrará las rutas punto de partida tomadas en la sección 3.1.3 del presente documento. Revisará si se respetan las restricciones planteadas en la selección de clústeres de la sección 3.2.1.

3.3.6. Revisión de rutas, escucha activa con personal de campo para piloto

En esta etapa se realizaron los ajustes según el caso de las rutas maestras y configuración de clústeres.

En la ilustración 16, se muestra un ejemplo con siete clústeres, en donde se respetan los 3 principios: No existencia de barreras artificiales y naturales, cercanías entre barrios y la frecuencia promedio de oferta por área.

Ilustración 16- Conformación de un camino Hamiltoniano.



Fuente: Propia.

CAPITULO 4

4.1. Despliegue

En esta etapa se implementa una prueba piloto con datos reales tomando información de una empresa que se dedica a la comercialización a crédito de muebles para el hogar, el propósito de dicha prueba es realizar varios escenarios en los municipios de Barranquilla y Soledad, con información de geo localización de clientes, los cuales deben ser visitados de tal forma que se respeten las restricciones del problema.

4.1.1. Implementar prueba piloto

El propósito de la prueba piloto, es obtener un conjunto de datos que permitan comparar el modelo propuesto con un modelo existente. Se divide en tres fases: generación de instancias, diseño de algoritmos y tabulación de resultados:

4.1.1.1. Generación de instancias

Se enumeran los clientes de una base de datos de 180 mil clientes, mediante la generación de un número aleatorio generado por una función de una hoja de cálculo y ordenando de mayor a menor, de tal forma que garanticemos que ningún cliente se repita en la lista de pruebas. En total 30 instancias generadas de la siguiente forma:

- a) 10 instancias de forma aleatoria, cada una de 80 clientes con residencia en Barranquilla (Atlántico) de una base de 100 mil clientes.

- b) 10 instancias de forma aleatoria, cada una de 80 clientes con residencia en Soledad (Atlántico) de una base de 80 mil clientes.
- c) 10 instancias de forma aleatoria, cada una de 80 clientes con residencia en Barranquilla o Soledad (Atlántico) de una base de 180 mil clientes.

4.1.1.2. Diseño de algoritmos

Para la codificación de los algoritmos, se tuvo en cuenta que el depósito (punto de partida) se tomará como el punto principal de operación del cliente, de donde parten los agentes en sus vehículos, ubicado en la coordenada geográfica correspondiente a la dirección Calle 35 con carrera 39 en la ciudad de Barranquilla.

Se establece para cada agente una capacidad máxima de visitas a 8 clientes. La variable que determinará la calidad de la solución o función objetivo es la distancia total recorrida que viene a ser la sumatoria de todas las distancias recorridas por cada agente.

Tanto el modelo propuesto como el modelo de comparación (método de barrido) fueron codificados en Visual Basic® de tal forma que se facilite la corrida de instancias en series y además poder utilizar las librerías para desarrolladores de Google Maps® las cuales se pueden interconectar para permitir identificar características de las soluciones resultantes.

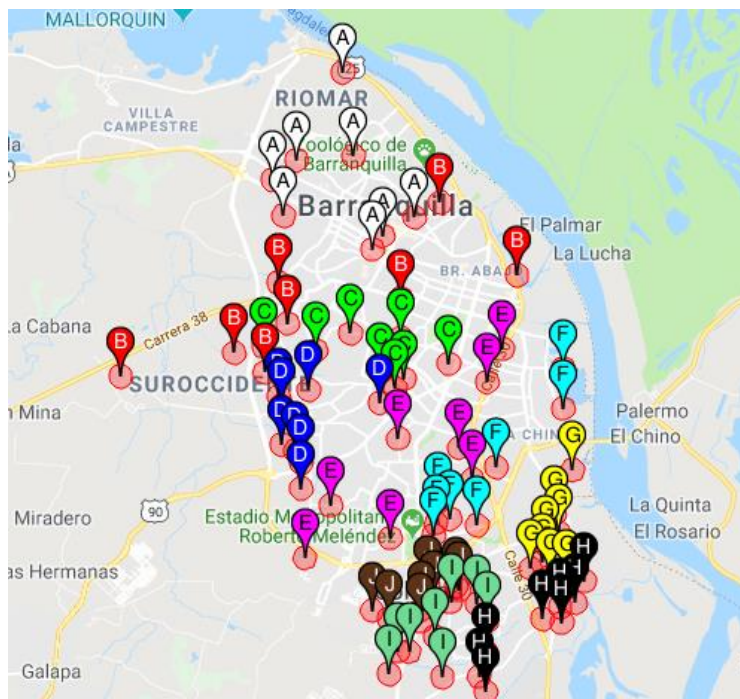
Los algoritmos fueron ejecutados en el mismo equipo de cómputo del fabricante Dell marca Latitude 3460 con características: Procesador, Intel (R) Core i5™ i5 - 5200 con 4 GB de memoria RAM. El tiempo de procesamiento para las 30

instancias fue de 49 segundos, compuesto por dos etapas, 26% para la preparación de los datos y 74% para los cálculos propios de cada metodología.

Se incluyó dentro del desarrollo un mapa de google® con el objetivo de visualizar y analizar gráficamente el resultado, esto fue posible porque se logró conectar el desarrollo en Visual Basic® con el módulo para desarrolladores de google maps®.

A continuación se presenta el resultado gráfico del modelo propuesto para una instancia con 80 clientes con reparto homogéneo a 10 agentes, con la metodología propuesta:

Ilustración 17- Solución gráfica del modelo propuesto- Instancia 3.



Fuente: Propia

En la gráfica cada letra (A, B,..., J) representa cada agente, la distancia total para esta instancia es de 89 km.

La distribución para los 10 agentes se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5 – Distancia recorrida por Agente. Modelo Propuesto. Instancia 3.

Agente	Visitas por agente	Distancia (Km)
A	8	9,0
B	8	17,9
C	8	7,3
D	8	10,2
E	8	18,1
F	8	7,7
G	8	3,9
H	8	5,0
I	8	6,4
J	8	3,4

Fuente propia.

Por ser datos personales y de carácter privado la información correspondiente a nombres, números de identificación y direcciones se omiten en el presente proyecto, se presenta el orden de visitas de los clientes por barrio, en la siguiente tabla:

Tabla 6 – Distancia recorrida por Agente. Modelo Propuesto. Instancia 3.

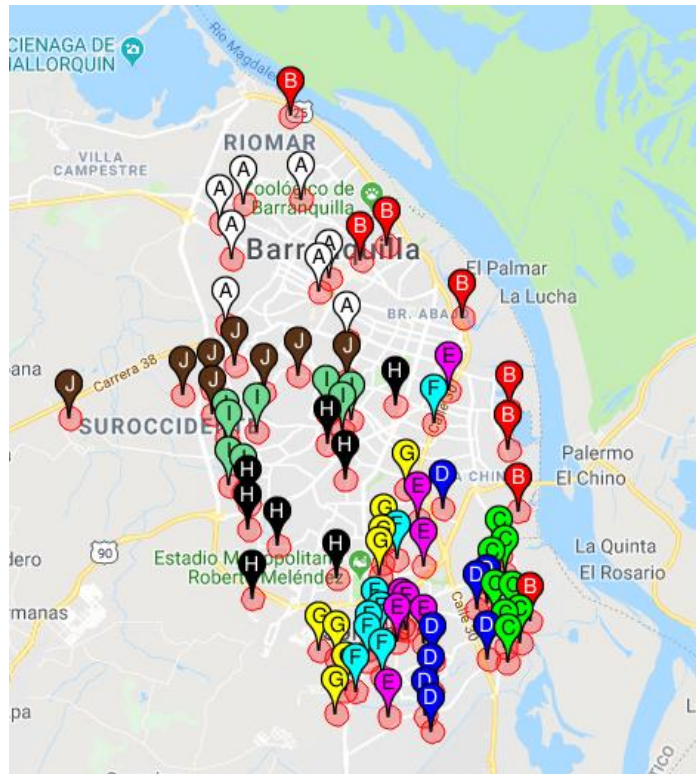
Agente	Orden de visitas
A	BAQ - SAN SALVADOR, BAQ - ANDALUCIA, BAQ - BUENA VISTA, BAQ - VILLA SANTOS, BAQ - EL TABOR, BAQ - COLOMBIA, BAQ - AMERICA, BAQ - BELLAVISTA
B	BAQ - VILLATAREL, BAQ - BARLOVENTO, BAQ - EL RECREO, BAQ - CAMPO ALEGRE, BAQ - CALAMARI, BAQ - BERNARDO HOYOS, BAQ - PINAR DEL RIO, BAQ - LA PAZ

C	BAQ - LOS OLIVOS I, BAQ - LA MANGA, BAQ - CARLOS MEISEL, BAQ - SANTO DOMINGO, BAQ - ALFONSO LOPEZ, BAQ - PUMAREJO, BAQ - NUEVA ESPERANZA, BAQ - PALACIO PLAZA
D	BAQ - LA CEIBA, BAQ - CIUDAD MODESTO, BAQ - CALIFORNIA, BAQ - 7 DE AGOSTO, BAQ - VILLA FLOR, BAQ - LOS ROSALES, BAQ - LA GLORIA, BAQ - SAN LUIS
E	BAQ - STO DOMINGO G., BAQ - LOS CONTINENTES, BAQ - SAN ROQUE, BAQ - MONTES, BAQ - LA UNION, BAQ - LA GRANJA, BAQ - TCHERASI, BAQ - EL LIMON
F	BAQ - SAN NICOLAS, BAQ - BELLA ARENA, BAQ - TORRES, SOL - LOS LAURELES, SOL - URB. EL PARQUE, BAQ - SANTA ELENA, BAQ - TERMINAL MARITIMO, BAQ - ZONA FRANCA
G	SOL - EL FERRY, SOL - LAS MARGARITAS, SOL - EL TRIUNFO, SOL - HIPODROMO, SOL - 20 DE JULIO, SOL - FERROCARRIL, SOL - FENALCO, SOL - ORIENTAL
H	SOL - CACHIMBERO, SOL - LA BONGA, SOL - PUMAREJO, SOL - LA ESPERANZA, SOL - LA FLORESTA, SOL - CIU.BOLIVAR, SOL - VILLA REY, SOL - URB PRADO
I	SOL - VILLA VALENTINA, SOL - CAMELOT, SOL - TERRANOVA 2, SOL - CIUDAD CARIBE, SOL - INMACULADA, SOL - NUEVA JERUSALEN, SOL - LAS COLONIAS, SOL - NORMANDIA
J	SOL - VILLA LOZANO, SOL - LOS FUNDADORES, SOL - VILLA ARAGON, SOL - LAS MORAS, SOL - BELLA MURILLO, SOL - LOS ROSALES, SOL - URB. HORIZONTE, SOL - VILLA ANGELITA

Fuente propia.

De igual forma, se presenta el resultado para una instancia (instancia 3) con 80 clientes con reparto homogéneo a 10 agentes, con el algoritmo de barrido:

Ilustración 18- Solución gráfica del algoritmo de barrido- Instancia 3.



Fuente: Propia

En la gráfica cada letra (A, B,..., J) representa cada agente, la distancia total para esta instancia es de 109 km.

La distribución para los 10 agentes se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7 – Distancia recorrida por Agente. Algoritmo Barrido. Instancia 3.

Agente	Visitas por agente	Distancia (Km)
A	8	12,1
B	8	34,9
C	8	3,6
D	8	7,5
E	8	9,5
F	8	7,7
G	8	6,7
H	8	12,4

I	8	5,4
J	8	3,4

Fuente propia.

Por ser datos personales y de carácter privado la información correspondiente a nombres, números de identificación y direcciones se omiten en el presente proyecto, se presenta el orden de visitas de los clientes por barrio, en la siguiente tabla:

Tabla 8 – Distancia recorrida por Agente. Algoritmo Barrido. Instancia 3.

Agente	Orden de visitas
A	BAQ - EL RECREO, BAQ - AMERICA, BAQ - COLOMBIA, BAQ - ANDALUCIA, BAQ - CAMPO ALEGRE, BAQ - EL TABOR, BAQ - BUENA VISTA, BAQ - VILLA SANTOS
B	BAQ - BARLOVENTO, BAQ - TERMINAL MARITIMO, BAQ - ZONA FRANCA, BAQ - VILLATAREL, BAQ - BELLAVISTA, SOL - EL FERRY, SOL - CACHIMBERO, BAQ - SAN SALVADOR
C	SOL - LAS MARGARITAS, SOL - EL TRIUNFO, SOL - HIPODROMO, SOL - FENALCO, SOL - ORIENTAL, SOL - LA BONGA, SOL - PUMAREJO, SOL - LA ESPERANZA
D	BAQ - SANTA ELENA, SOL - 20 DE JULIO, SOL - FERROCARRIL, SOL - LA FLORESTA, SOL - NUEVA JERUSALEN, SOL - CIU.BOLIVAR, SOL - URB PRADO, SOL - VILLA REY
E	BAQ - SAN ROQUE, BAQ - EL LIMON, SOL - URB. EL PARQUE, SOL - LOS FUNDADORES, SOL - VILLA LOZANO, SOL - NORMANDIA, SOL - LAS COLONIAS, SOL - VILLA VALENTINA
F	BAQ - MONTES, SOL - LOS LAURELES, SOL - LAS MORAS, SOL - VILLA ARAGON, SOL - BELLA MURILLO, SOL - LOS ROSALES, SOL - INMACULADA, SOL - TERRANOVA 2
G	BAQ - LA UNION, BAQ - SAN NICOLAS, BAQ - BELLA ARENA, BAQ - TORRES, SOL - VILLA ANGELITA, SOL - URB. HORIZONTE, SOL - CIUDAD CARIBE, SOL - CAMELOT
H	BAQ - ALFONSO LOPEZ, BAQ - LA CEIBA, BAQ - LOS CONTINENTES, BAQ - TCHERASI, BAQ - CALIFORNIA, BAQ - STO DOMINGO G., BAQ - SAN LUIS, BAQ - LA GRANJA
I	BAQ - PUMAREJO, BAQ - PALACIO PLAZA, BAQ - NUEVA ESPERANZA, BAQ - CIUDAD MODESTO, BAQ - 7 DE AGOSTO, BAQ - LOS ROSALES, BAQ - VILLA FLOR, BAQ - LA GLORIA
J	BAQ - SANTO DOMINGO, BAQ - CARLOS MEISEL, BAQ - LA MANGA, BAQ - CALAMARI, BAQ - LOS OLIVOS I, BAQ - LA PAZ, BAQ - BERNARDO HOYOS, BAQ - PINAR DEL RIO

Fuente propia.

Para la instancia 3, tenemos una reducción del 18% en distancia recorrida, al comparar los 109 km de distancia recorrida total al ejecutar el algoritmo de barrido y los 89 km correspondientes al modelo propuesto.

4.1.1.3. Tabulación de los resultados

Al comparar los tiempos de procesamiento de ambos algoritmos se encuentran valores similares y menores en todos los casos a 50 segundos, con las condiciones anteriormente descritas.

Se destaca que el modelo propuesto presenta una menor distancia total recorrida en comparación con el algoritmo de barrido. Tal como lo muestra la tabla:

COMPARACIÓN	Barranquilla y Soledad	Barranquilla	Soledad	Total
ALGORITMO BARRIDO	2	7	2	11
EMPATE	2			2
ALGORITMO PROPUESTO	6	3	8	17
Total	10	10	10	30

Para las instancias estudiadas 17 de cada 30 presentan mejor desempeño el modelo propuesto en comparación con 11 de cada 30 del algoritmo de Barrido. Es decir, que el algoritmo propuesto presenta mejores soluciones en más del 50% de las veces en comparación con el algoritmo de barrido.

4.2. Evaluación

La evaluación de los resultados se enfoca en dos líneas:

- a) Cuantitativo: Al comparar el resultado numérico de los algoritmos, se establecen conclusiones sobre el desempeño de ejecución de

los mismos, ésta variable es preponderante y da una relación de eficiencia en el que necesitamos entregar soluciones rápidas para problemas de optimización de rutas. Así mismo, la eficacia que connota hacer más con los mismos recursos, es posible medirla al comparar una o varias soluciones con una función objetivo de minimización de distancia total recorrida.

b) Cualitativo: La calidad de las soluciones se revisa por medio de reuniones individuales con personas que día a día ponen en práctica el modelo, en el presente proyecto los hemos denominado agentes, si bien, los modelos son una buena aproximación de la realidad, es conveniente revisar las consideraciones que se tuvieron en cuenta para la elaboración de los mismos.

La reducción de la distancia en función de los costos se ve reflejada en una disminución del tiempo utilizado, el cual se comprobó mediante el piloto que la empresa puede obtener un incremento de un 18% en las visitas que puede realizar durante una jornada.

El impacto de beneficios de cara a la ciudad no es tan fácil medir, indicadores como el consumo de combustible por habitante es un indicador que se relaciona con el índice de gas carbónico suspendido en el medio ambiente, sin embargo, la reducción de una sola empresa en la emisión de gas carbónico por período aportaría en la reducción sin embargo no mostraría mejora significativa a nivel global.

4.3. Interface de software desarrollada

La herramienta está compuesta por 7 pantallas en las cuales el usuario puede entregar y recibir respuesta de los cálculos que se generan en el código fuente del programa.

En la primera pantalla el usuario incluirá la posición de la columna en donde se encuentra la información geográfica (dirección, barrio, ciudad, departamento, país, latitud, longitud), relacionado al vínculo con la empresa (objeto de la visita, información respecto a su la obligación adquirida) y personal (nombre, identificación).

Ilustración 19- Pantalla 1 – Software de asignación y balanceo de rutas.

1	Organizar Información		
Segmento	Instancia 01	Instancia 02	Instancia 03
Se extrae	sí	no	no
Cuenta	1		
Agencia	2		
Fecha último pago	3		
Saldo total	4		
Cuotas vencidas	5		
Nombre Destinatario	6		
Dirección Destinatario	7		
Barrio Destinatario	8		
Ciudad Destinatario	9		
Debido ó Tiempo	10		
Tramo Inicial	11		
Otros_2	12		
Otros_3	13		
Otros 4	14		
Otros 5	15		
Otros 6	16		
Otros 7	17		

Fuente: Propia

En la segunda pantalla, el software valida que la información de entrada corresponda según el tipo que se requiere, por ejemplo, la de latitud debe ser un valor numérico.

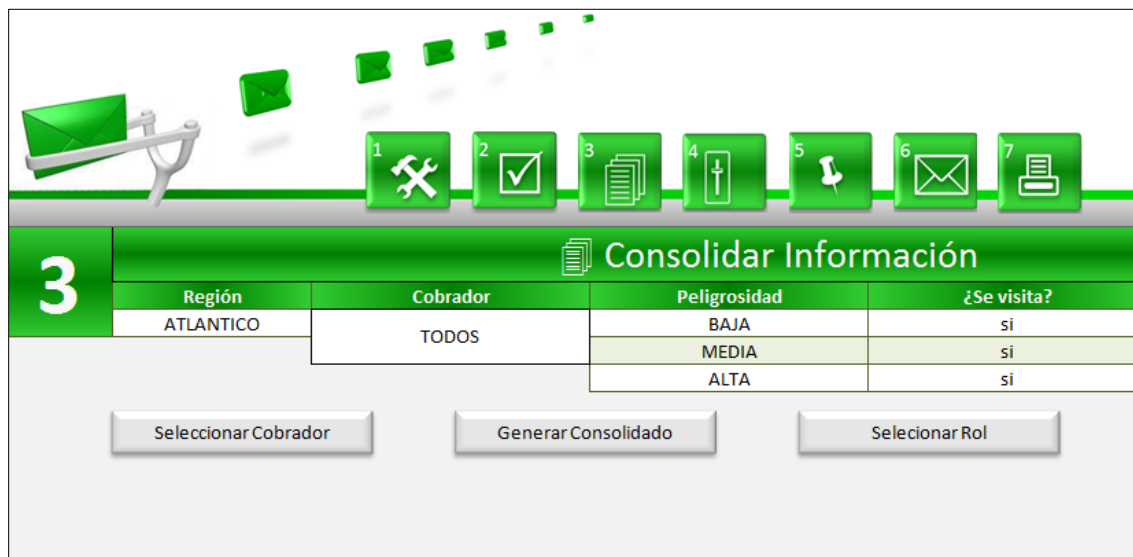
Ilustración 20- Pantalla 2 – Software de asignación y balanceo de rutas.

2		<input checked="" type="checkbox"/> Validar Información		
Segmento		Instancia 01	Instancia 02	Instancia 03
	Cuenta	CLIENTE 02		
	Agencia			
Registro ▲	Fecha último pago			
2 ▼	Saldo total			
	Cuotas vencidas			
	Nombre Destinatario	CLIENTE 02		
	Dirección Destinatario			
	Barrio Destinatario	BELLA MURILLO		
	Ciudad Destinatario	SOLEDAD		
	Debido ó Tiempo	1000		
	Tramo Inicial			
	Otros_2			
	Otros_3			
	Otros 4			
	Otros 5			
	Otros 6			
	Otros 7			

Fuente: Propia

En la tercera pantalla, el usuario selecciona el departamento (Atlántico) al cual pertenecen los clientes objetos de visitas. Permite filtrar por tipos de peligrosidad (Alta, Media y Baja), tipos de agente (cobrador) que realizaría la visita. El propósito de dicha pantalla es agrupar en el caso que se seleccionen diferentes fuentes de información y filtrar según características geográficas (Departamento, Peligrosidad).

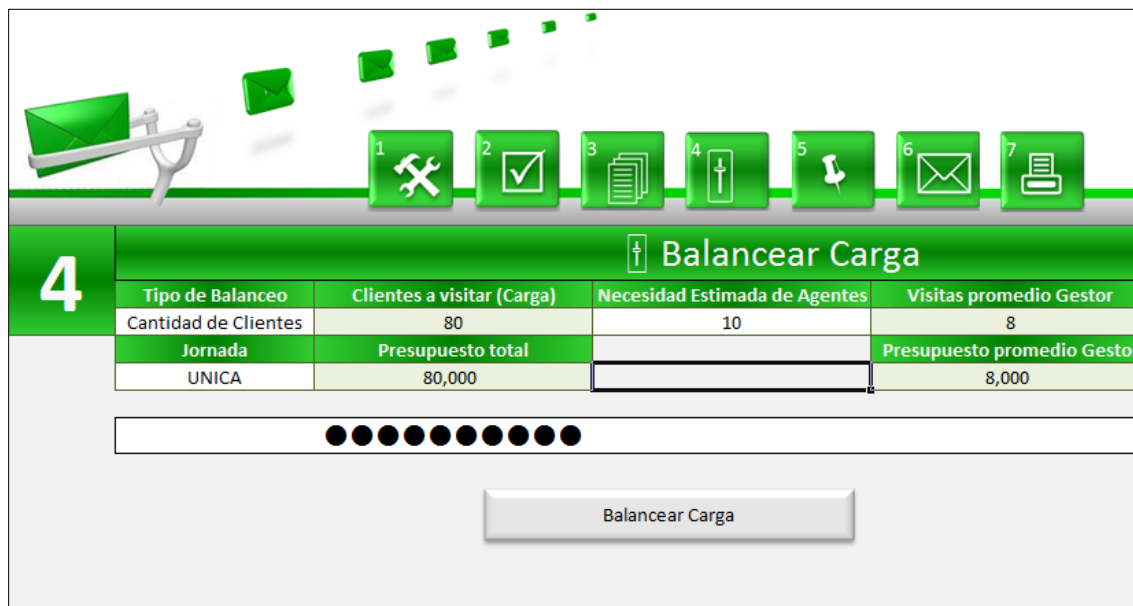
Ilustración 21- Pantalla 3 – Software de asignación y balanceo de rutas.



Fuente: Propia

En la cuarta pantalla, el usuario selecciona la cantidad de agentes disponibles, y la cantidad de visitas a realizar por jornada. Dando clic en el botón “Balancear Carga” se ejecuta el procedimiento correspondiente.

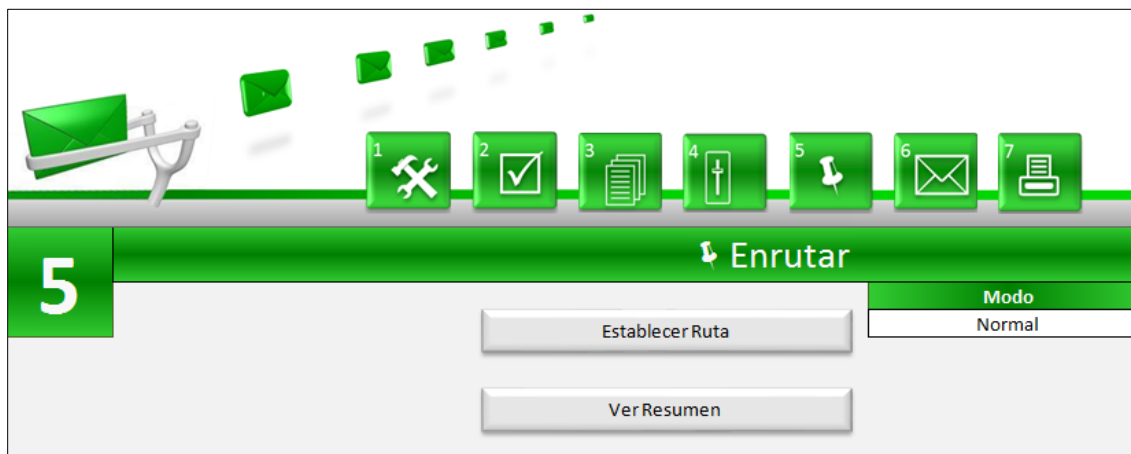
Ilustración 22- Pantalla 4 – Software de asignación y balanceo de rutas.



Fuente: Propia

En la quinta pantalla, el usuario selecciona el modo en que se va a ejecutar el proceso (Normal, Comparativo), en el caso de seleccionar normal, la herramienta ejecutará el modelo propuesto en el presente proyecto. Dando clic en el botón “Balancear Carga” se ejecuta el procedimiento correspondiente.

Ilustración 23- Pantalla 5 – Software de asignación y balanceo de rutas.



Fuente: Propia

Dando clic en el botón “Ver Resumen” desplegará una tabla con la información resumen de visitas por agente, distancia recorrida y total de zonas a visitar.

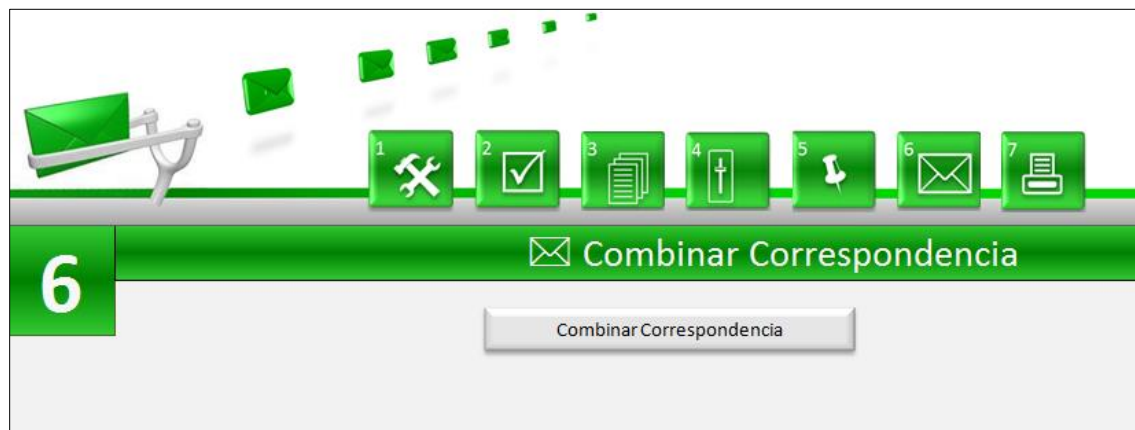
Ilustración 24- Tabla resumen

Maletín	Barrios por Maletín	★	Visitas por Maletín	Distancia (Km)	Zonas a visitar
A	BAQ - EL RECREO, BAQ - AMERICA, BAQ	★	8	12.1	8
B	BAQ - BARLOVENTO, BAQ - TERMINAL M	★	8	34.9	8
C	SOL - LAS MARGARITAS, SOL - EL TRIUNI	★	8	3.6	8
D	BAQ - SANTA ELENA, SOL - 20 DE JULIO,	★	8	7.5	8
E	BAQ - SAN ROQUE, BAQ - EL LIMON, SO	★	8	9.5	8
F	BAQ - MONTES, SOL - LOS LAURELES, SC	★	8	7.7	8
G	BAQ - LA UNION, BAQ - SAN NICOLAS, E	★	8	6.7	8
H	BAQ - ALFONSO LOPEZ, BAQ - LA CEIBA,	★	8	12.4	8
I	BAQ - PUMAREJO, BAQ - PALACIO PLAZ	★	8	5.4	8
J	BAQ - SANTO DOMINGO, BAQ - CARLOS	★	8	8.6	8

Fuente: Propia

En la sexta pantalla, el usuario ejecuta un proceso a través del cual en una carta, los datos de una lista de direcciones son insertados, organizando en una serie de cartas personalizadas para cada registro la lista de destinos.

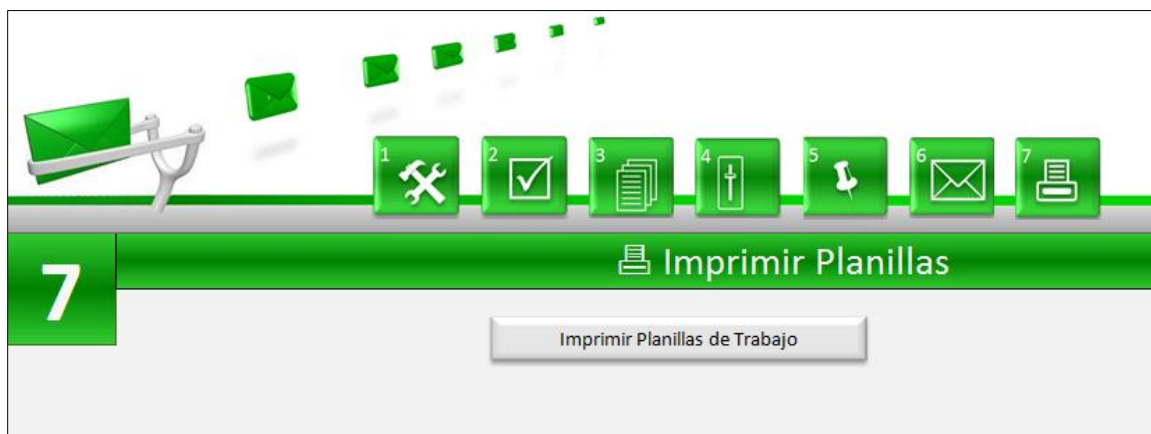
Ilustración 25- Pantalla 6 – Software de asignación y balanceo de rutas.



Fuente: Propia

Finalmente en la séptima pantalla, el usuario dispone de un proceso de impresión de planilla de trabajo la cual se imprime o se visualiza en un dispositivo móvil como un teléfono inteligente o una Tablet.

Ilustración 26- Pantalla 7 – Software de asignación y balanceo de rutas.



Fuente: Propia

CAPITULO 5

5.1. Conclusiones

Se presentó un modelo lo suficientemente flexible, que podría ser adaptado a situaciones similares de problemas de enrutamiento de vehículos. El modelo propuesto incluye el concepto de barreras físicas de desplazamiento en la región de operación, muy pocos autores han trabajado este enfoque, el cual a través de pruebas pilotos han confirmado la importancia sobre la utilización del mismo.

Los muy buenos resultados obtenidos fueron posibles gracias a la comparación contra metodologías existentes, el haber programado la heurística de barrido y haberle incluido una regla de visitas intra-clústeres generó una situación retadora para el desarrollo del presente modelo.

Problemas similares al descrito en el presente proyecto han sido resueltos a través de metodologías heurísticas y metaheurísticas por tratarse de algoritmos eficientes en cuanto al tiempo empleado para obtener una solución.

El modelo propuesto está enfocado en resolver problemas de gran tamaño (más de 1000 clientes) porque se construyó a partir de algoritmos polinómicos, por lo que el tiempo de ejecución es menor en comparación con otras metodologías.

El presente modelo impacta directamente en la eficiencia y eficacia de las operaciones de transporte en el cual se desee minimizar la distancia recorrida, si bien el

modelo puede implementarse en una hoja de cálculo, se sugiere ser empaquetado como programa para facilitar la gestión del talento humano.

La generación de rutas maestras a través de centroides de zonas permite clasificar la región de estudio teniendo en cuenta los accidentes geográficos y construcciones arquitectónicas, de esta forma se puede reducir la cantidad de soluciones del problema, reduciendo en gran medida el tiempo de procesamiento del equipo de cómputo.

Si bien el presente estudio se midió en función de la distancia recorrida, para adaptaciones futuras, puede enriquecerse al incluir el tiempo por especialidad de operación y el consumo de combustible, así también, el impacto en la generación de CO₂.

Se demostró que a la empresa a la cual se le realizó la prueba piloto, se ha beneficiado en reducción de costos del 12% por visitas promedio al integrar el modelo en su sistema. La programación en VBA® facilitó la implementación de la asignación de rutas, debido al éxito en un plan de pruebas en el que se pudieron hacer ajustes rápidos satisfaciendo las necesidades de la empresa en ésta área.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad Soriano, M. T. (2008). Algoritmos voraces. *Artículo Facultad Informática UPC, 4*.
- Arana, B. H. (2015). Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el Municipio de Zarzal, Valle del Cauca. *Tesis de grado, Universidad del Valle*.
- Ardila, C. P. (2015). Diseño de rutas de transporte terrestre para el personal operativo nocturno de la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla. *Tesis de Grado CUC*.
- Banos, A. T. (2011). *Geographical information and urban transport systems*. London: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Bernal Segura, L. A. (2013). Modelo de ruteo para entregas de mercancías a clientes por terceros en sector retail. *Artículo Universidad Militar Nueva Granada*.
- Cal, R. (1972). *Ingeniería de Tránsito*. México: Representaciones y servicios de ingeniería.
- Casas R., J. V. (1993). Concepto de contaminación por automotores. En U. U. Colombia, *Transporte urbano y medio ambiente: memorias* (págs. 25-31). Tunja, Colombia: Editorial de la UPTC.
- Correa, A., Gómez, H., Loaiza, J., Lopera, D., & Villegas, J. (2008). Características del diseño de rutas de distribución de alimentos en el Valle de Aburrá. *Revista del Departamento de Ingeniería Industrial Universidad de Antioquia, 173-179*.
- Díaz, J. (2016). Diseño modelo para la asignación de rutas TURISTRAN LTDA, caso de uso Terra Ferme S.A. *Tesis de Especialización. Universidad Francisco Jose de Caldas*.
- Estrada, M. (2007). Redes de distribución. *Consolidación de rutas para obtener economías de escala logrando beneficios técnicos y de costos*.
- Geoconcept. (2015). *Software para optimizar rutas*.
- Gonzalez, J. T. (2010). Diseño de un modelo para la asignación y ruteo de bombas estacionarias desde las plantas de concreto de HOLCIM (COLOMBIA) S.A, Zona Bogotá. *Teis de grado de Especialización*.
- INVIAS. (2008). Manual de diseño geométrico de carreteras. *Clasificación de las carreteras*, Numeral 1.2.
- Marquez, J. (2010). Macro y micro ruteo de residuos sólidos. *Tesis de grado Universidad de Sucre*.
- Mauleón Torres, M. (2013). *Transporte, operadores, redes*. España: Ediciones Diza de Santos.
- MEN. (2009). Propuesta de Estandar de las direcciones Urbanas para los equipamientos del Ministerio de Educación. *Centro de Investigación y Desarrollo - CIAF*.
- Miguel, R. C. (2015). Programación de rutas y asignación de aeronaves. *Tesis de grado Universidad de Barcelona*.
- Mora García, L. A. (2007). *Indicadores de la gestión logística*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.

- Mora García, L. A. (2009). *Diccionario de logística y SCM*. Medellín: High Logistics.
- Mora García, L. A. (2010). *Modelos de optimización de la gestión logística*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Mora García, L. A. (2011). *Gestión logística integral : las mejores prácticas en la cadena de abastecimiento*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Mora García, L. A. (2013). *Logística inversa y ambiental : retos y oportunidades en las organizaciones modernas*. Bogotá, Colombia: Ecoe ediciones.
- Morales Castro, A. (2014). *Crédito de Cobranza*. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria SA de CV.
- Ortúzar Salas, J. d. (2015). *Modelos de demanda de transporte*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Requenes, D. G. (2012). Estudio de un problema de distribución de productos alimenticios permitiendo particionar las entregas. *Tesis de Maestría - Universidad Autónoma de Nuevo León*.
- Rodriguez, F. (2007). Diseño y selección de un sistema de distribución y suministro. *Tesis de Grado - Llenroc Plastic Corporation*.
- Rolf Moller, D. (2006). *Transporte urbano sostenible y calidad de vida para los municipios de Colombia*. Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle.
- Salamando Ramirez, A. (2011). Modelo de ruteo de cuadrillas de suspensión y reconeión de cuadrillas de energía en Bogotá. *Universidad de la Sábana*.
- Salas Requene, D. G. (2012). Estudio de un problema de distribución de productos alimenticios permitiendo particionar las entregas. *Universidad Autónoma de Nuevo León*.
- SEDESOL. (1997). Manual de Recolección de rutas de residuo sólido. *SEDESOL*.
- Thomson, I. B. (2002). La congestión del tránsito urbano causas y consecuencias económicas y sociales. *REVISTA CEPAL*, 109.
- Timocom. (10 de 04 de 2018). *Plataforma de transporte TimoCom*. Recuperado el 10 de 04 de 2018, de <https://www.timocom.es/lexicon/El-Diccionario-de-Transporte/C>
- Toro Ocampo, E. M. (2016). *Solución del problema de localización y ruteo usando un modelo matemático Flexible y considerando efectos ambientales*. Pereira - Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Vargas, J. D. (2013). Proceso de geocodificación de direcciones en la ciudad de Medellín, una técnica determinística de georeferenciación de direcciones. *Alcaldía de Medellín*.