

**DETERMINACIÓN DE LAS RUTAS ÓPTIMAS DE TRASLADO DE LOS  
DELEGADOS DE COMPUTADORES PARA EDUCAR A TRAVÉS DE UN  
MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL QUE MINIMICE EL TIEMPO DE  
DESPLAZAMIENTO HACIA LOS MUNICIPIOS DE LAS SEDES BENEFICIADAS**

KATHLYN JOARIS MENDOZA MERCHÁN  
JUAN PABLO CASTRO RINCÓN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CARTAGENA, 2012

**DETERMINACIÓN DE LAS RUTAS ÓPTIMAS DE TRASLADO DE LOS  
DELEGADOS DE COMPUTADORES PARA EDUCAR A TRAVÉS DE UN  
MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL QUE MINIMICE EL TIEMPO DE  
DESPLAZAMIENTO HACIA LOS MUNICIPIOS DE LAS SEDES BENEFICIADAS**

KATHLYN JOARIS MENDOZA MERCHÁN  
JUAN PABLO CASTRO RINCÓN

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
INDUSTRIAL

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO  
M.Sc. LUIS IGNACIO MORALES ECKARDT  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UTB

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
CARTAGENA, 2012

**Proyecto de Grado:** DETERMINACIÓN DE LAS RUTAS ÓPTIMAS DE TRASLADO DE LOS DELEGADOS DE COMPUTADORES PARA EDUCAR A TRAVÉS DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL QUE MINIMICE EL TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO HACIA LOS MUNICIPIOS DE LAS SEDES BENEFICIADAS

**Autores:** KATHLYN JOARIS MENDOZA MERCHÁN  
JUAN PABLO CASTRO RINCÓN

**Director:** LUIS MORALES ECKARDT

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Cartagena, 31 de Agosto de 2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, deseamos agradecerle a Dios por iluminarnos en todo momento para el desarrollo de este proyecto y a lo largo de nuestra carrera la comunidad UTB, y allí forjar las bases de nuestro futuro, un futuro lleno de bendiciones; por escuchar nuestras oraciones y llenarnos de sabiduría para superar los momentos de dificultad y desconcierto.

De igual forma, agradecer a nuestras familias, por su incansable amor, comprensión, apoyo incondicional y por todos los sacrificios que han tenido que realizar durante estos años.

Queremos agradecer enormemente a nuestro Director de trabajo de Grado, Luis Ignacio Morales Eckardt, por su confianza, apoyo, paciencia, orientación e inestimable ayuda en la realización del presente trabajo de grado.

A nuestros docentes, por su dedicación y esfuerzo en transmitir sus conocimientos y enseñarnos cada día a ser buenos profesionales y excelentes personas.

Por último pero no menos impórtate, a nuestros amigos y compañeros, por regalarnos su compañía y permitirnos compartir una valiosa e inolvidable etapa de su vida.

# CONTENIDO

Pág.

<b>GLOSARIO .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>xv</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2 ELEMENTOS DEL PROBLEMA.....	4
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.5 OBJETIVOS .....	7
1.5.1 Objetivo General.....	7
1.5.2 Objetivos Específicos .....	7
1.6 JUSTIFICACIÓN .....	9
<b>2. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>11</b>
2.1 LOGISTICA .....	11
2.2 RUTEO DE VEHICULOS.....	13
2.3 PROGRAMACIÓN LINEAL .....	15
<b>3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
3.1 PROBLEMA DE LA RUTA MÁS CORTA:.....	17
3.2 TRAVELLING SALESMAN PROBLEM (TSP):.....	18
3.3 VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP) .....	19
3.4 VARIANTES DEL VRP:.....	20
3.4.1 VRP con múltiples depósitos (MDVRP):.....	20
3.4.2 VRP periódico (PVRP): .....	21
3.4.3 VRP de entrega dividida (SDVRP):.....	21
3.4.4 VRP estocástico (SVRP):.....	21

3.4.5	VRP con recogidas y entregas (VRPPD): .....	21
3.4.6	VRP con backhails (VRPB): .....	22
3.4.7	VRP con ventanas de tiempo (VRPTW):.....	22
3.5	COEFICIENTES TECNOLÓGICOS.....	23
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA UTILIZADA POR COMPUTADORES PARA EDUCAR EN LA ASIGNACIÓN DE MUNICIPIOS CON SEDES TIPO B A LOS DELEGADOS .....</b>	<b>24</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE ASIGNACIÓN .....	24
4.2	DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNACIÓN REALIZADA POR CPE DE LOS MUNICIPIOS CON SEDES TIPO B A LOS DELEGADOS EN EL AÑO 2011 .....	29
<b>5.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE INSTALACIÓN, LEGALIZACIÓN Y CIERRE DE LOS DELEGADOS DE COMPUTADORES PARA EDUCAR .....</b>	<b>33</b>
5.1	CARACTERÍSTICAS DEL CASO EN ESTUDIO .....	33
5.2	DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CASO EN ESTUDIO EN TERMINOS DE MIP.....	35
5.2.1	Ponderación de las características del caso en estudio .....	40
5.3	SUPUESTOS DEL CASO EN ESTUDIO .....	43
<b>6.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN Y DECLARACIÓN DE VARIABLES, PARÁMETROS Y RESTRICCIONES .....</b>	<b>45</b>
6.1	DEFINICIÓN DE LA VARIABLE .....	45
6.2	DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS.....	46
6.3	DEFINICIÓN DE RESTRICCIONES.....	46
<b>7.</b>	<b>COEFICIENTES DE COSTO Y COEFICIENTES TECNOLÓGICOS.....</b>	<b>47</b>
<b>8.</b>	<b>FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO DE RUTEO DE VEHICULOS VRP .</b>	<b>52</b>
<b>9.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN GAMS .....</b>	<b>55</b>
9.1	SELECCIÓN DEL SOLVER .....	56
9.2	BUSQUEDA DE ALTERNATIVAS DE LA SITUACIÓN INICIAL .....	59
<b>10.</b>	<b>SOLUCIÓN DEL MODELO DE RUTEO DE VEHICULOS EN GAMS .....</b>	<b>60</b>
10.1	VRP1: Atlántico – Bolívar.....	60
10.2	VRP 2: Córdoba .....	65
10.3	VRP 3: Sucre .....	67
10.4	VRP 4: Cesar .....	69

10.5VRP 5: Magdalena – Guajira.....	72
10.6VRP 6: Norte de Santander.....	74
<b>11. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MODELO VS LA ASIGNACIÓN REALIZADA POR CPE.....</b>	<b>77</b>
<b>12. PLANEACIÓN DE ACTIVIDADES .....</b>	<b>80</b>
<b>13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
13.1 CONCLUSIONES.....	82
13.2 RECOMENDACIONES .....	83
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

## CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Total sedes tipo B por región .....	26
Tabla 2: Numero de sedes asignadas a cada Departamento de la Región 1 y en la Región 2 en el 2011 .....	30
Tabla 3: Comparación de características del caso en estudio Vs las características de los modelos de ruteo de vehículos.....	39
Tabla 4: Ponderación de las características del caso con los modelos de ruteo de vehículos.....	41
Tabla 5: Resultados de la ponderación asignada a las características del caso ...	42
Tabla 6: Conformación de cada VRP.....	50
Tabla 7: Número de Sedes por Depósito .....	50
Tabla 8: Selección del Solver VRP Atlántico -Bolívar .....	58
Tabla 9: Resultados Preliminar del VRP Atlántico - Bolívar.....	60
Tabla 10: Ruteo arrojado por el modelo de GAMS .....	61
Tabla 11: Traducción de la asignación realizada por el modelo .....	61
Tabla 12: Tiempo que demora cada Delegado en completar la ruta .....	62
Tabla 13 Cronograma Preliminar VRP Atlántico y Bolívar .....	62
Tabla 14 Resultados del VRP Atlántico- Bolívar.....	63
Tabla 15: Traducción de la asignación realizada por el modelo .....	64
Tabla 16: Tiempo que demora cada Delegado en completar la ruta .....	64
Tabla 17 Cronograma VRP Atlántico y Bolívar .....	65
Tabla 18: Resultados Preliminares del VRP Córdoba .....	65
Tabla 19: Cronograma Preliminar del VRP Córdoba .....	66

Tabla 20: Resultados del VRP Córdoba .....	66
Tabla 21: Cronograma VRP Córdoba .....	67
Tabla 22: Resultados Preliminar del VRP Sucre.....	67
Tabla 23: Cronograma Preliminar del VRP Sucre.....	68
Tabla 24: Resultados VRP Sucre .....	69
Tabla 25: Resultados Preliminar del VRP Cesar .....	69
Tabla 26: Cronograma Preliminar del VRP Cesar .....	70
Tabla 27: Resultados VRP Cesar .....	71
Tabla 28: Cronograma del VRP Cesar .....	71
Tabla 29: Resultados Preliminares del VRP Magdalena - Guajira.....	72
Tabla 30: Cronograma Preliminar del VRP Magdalena - Guajira .....	72
Tabla 31: Resultados VRP Magdalena - Guajira .....	73
Tabla 32: Cronograma del VRP Cesar .....	74
Tabla 33: Resultados Preliminares del VRP Norte de Santander.....	74
Tabla 34: Cronograma Preliminar del VRP Norte de Santander.....	75
Tabla 35: Resultados del VRP Norte de Santander.....	75
Tabla 36: Cronograma del VRP Norte de Santander.....	76
Tabla 37: Indicadores año 2011 asignación CPE por departamento.....	77
Tabla 38: Indicadores de la mejor solución encontrada por Departamento .....	78
Tabla 39: Planeación de Actividades Propuesta.....	81

## CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1: Representación gráfica del VRP .....	14
Ilustración 2: Etapas de las Estrategias de Acceso y Formación de Computadores para Educar .....	27
Ilustración 3: Departamentos Beneficiarios del Programa de CPE .....	31
Ilustración 4: Ejemplo construcción de las matrices de tiempos .....	49

## CONTENIDO DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 1: Distribución de las Sedes a beneficiar por región, departamento y tipo de sede .....</b>	<b>86</b>
Anexo 2: Matriz de Tiempos Atlántico – Bolívar.....	89
Anexo 3: Matriz de Tiempos Córdoba.....	89
Anexo 4: Matriz de Tiempos Sucre .....	89
Anexo 5: Matriz de Tiempos Cesar.....	89
Anexo 6: Matriz de Tiempos Magdalena – Guajira .....	89
Anexo 7: Matriz de Tiempos Norte de Santander .....	89
Anexo 8: Modelo VRP en lenguaje de GAMS.....	89
Anexo 9: Lista de Solvers, Estadística de NeosServer .....	90
Anexo 10: Solvers de Programación Lineal Entera Mixta .....	91
Anexo 11: Asignación de las Rutas Atlántico - Bolívar .....	91
Anexo 12: Ruteo Atlántico – Bolívar por Delegado .....	92
Anexo 13: Mapa Rutas por Delegado Atlántico - Bolívar .....	93
Anexo 14: Asignación Rutas Córdoba .....	94
Anexo: 15: Ruteo Córdoba por Delegado .....	95
Anexo: 16: Mapa Rutas por Delegado Córdoba .....	96
Anexo 17: Asignación Rutas Sucre.....	96
Anexo 18: Ruteo Sucre por Delegado .....	97
Anexo: 19: Mapa Rutas por Delegado Sucre.....	97
Anexo: 20: Ruteo Cesar .....	98

Anexo: 21: Ruteo Cesar por Delegado.....	98
Anexo: 22: Mapa Rutas por Delegado Cesar .....	99
Anexo: 23: Ruteo Magdalena - Guajira.....	99
Anexo: 24: Ruteo Magdalena - Guajira por Delegado .....	100
Anexo: 25: Mapa Rutas por Delegado Magdalena - Guajira .....	101
Anexo: 26: Ruteo Norte de Santander .....	102
Anexo 27: Ruteo Norte de Santander por Delegado.....	102
Anexo: 28: Mapa por Delegado Norte de Santander .....	103

## GLOSARIO

**Delegado:** Persona contratada por las Entidades Coordinadoras, quien en nombre de Computadores para Educar realiza todas las actividades de gestión, infraestructura y de formación en zona con cada sede educativa, municipio y departamento. El delegado formador es el principal actor de CPE en zona.

**Densificación:** Estrategia que fomenta la entrega de equipos de cómputo a sedes educativas que cuentan con recursos tecnológicos insuficientes, tomando como referencia el indicador deseado de niños por Computador

**Entidad coordinadora:** Hace referencia a la organización (Universidad, Centro de desarrollo tecnológico, Unión Temporal, etc.) que contrata Computadores para Educar para desarrollar en campo la estrategia Acceso y Apropiación Digital.

**Formación:** proceso de acompañamiento educativo que realiza la entidad coordinadora, encaminado a lograr la apropiación pedagógica de las TIC a partir del desarrollo de las competencias propuestas por CPE en articulación con el Ministerio de Educación Nacional.

**Google Earth:** Es el servicio, vía web, que nos permite visualizar el mundo a través de imágenes vía satélite, imágenes de mapas o combinar estas dos. Gracias al buscador, podemos buscar lugares de todo el mundo y poder visualizarlo de forma efectiva. Si se siguiera una trayectoria de rejilla (o de cuadrícula), como al ir en auto por una ciudad con estructuras distribuidas en cuadras.

**Optimización:** Conjunto de teorías y técnicas por medio de las cuales se intenta dar respuesta a un tipo general de problemas donde se desea elegir el mejor entre un conjunto de elementos.

**Penetración:** Estrategia orientada a beneficiar sedes educativas que según el reporte que maneja el Ministerio de Educación Nacional, nunca han visto un Computador.

**Programación entera:** Son modelos de programación lineal que tienen la característica adicional de que algunas de las variables de decisión deben tomar valores enteros.

**Reposición:** Consiste en la sustitución de equipos de cómputo obsoletos que tienen las sedes educativas, entregados inicialmente por CPE o cualquier otra estrategia.

**Restricción:** Es una condición que debe cumplir la solución de un problema de optimización.

**Sedes beneficiadas:** Corresponde a las sedes educativas que han recibido equipos de cómputo del Programa.

**Software:** Al equipamiento lógico o soporte lógico de una computadora digital; comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas.

## ABREVIATURAS

**CPE:** Computadores para Educar

**CVRP:** (Capacited Vehicle Routing Problem) es el problema de enrutamiento de vehículos con cierta capacidad

**GAMS:** (General Algebraic Modeling System) es un sistema de alto nivel de modelado para la programación matemática y optimización. GAMS se adapta para los usos complejos y grandes modelos a escala.

**TSP:** (Traveling Salesman Problem) es el problema del agente viajero.

**VRP:** (Vehicle Routing Problem) es el problema de ruteo vehicular.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), ha impulsado iniciativas que permitan contribuir al desarrollo social de los Colombianos, promoviendo el crecimiento de la cobertura de las TIC a lo largo y ancho del país.

Entre los proyectos que viene desarrollando se encuentra el Plan Vive Digital, el cual busca impulsar la masificación del uso de las TIC y de la internet en todos los departamentos del país como estrategia fundamental para el desarrollo social y económico del país, teniendo en cuenta la ampliación de la cobertura a las instituciones educativas, el acceso a los hogares y el desarrollo de las pequeñas y medianas empresas (PYMES).

Con el fin de lograr los objetivos en la cobertura de las TIC en las instituciones educativas, en el marco del Plan Vive Digital se viene desarrollando el Programa Computadores Para Educar (CPE), el cual tiene como misión contribuir al cierre de la brecha digital en el País, mediante el acceso, uso y aprovechamiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en los establecimientos educativos públicos del Territorio Nacional<sup>1</sup>

Para lo anterior, el programa ha desarrollado estrategias que van desde el acompañamiento de las comunidades educativas en la adecuación de sus instalaciones para poder recibir los computadores donados al programa, la instalación de los equipos y el acompañamiento en el aprendizaje en las TIC por parte de las sedes beneficiadas.

---

<sup>1</sup>Fuente: Oficina de CPE sede Tecnológica de Bolívar. Archivo: Estrategias de Acceso y Formación.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, en su papel de entidad coordinadora del programa CPE, desarrollará la estrategia de Acceso y Apropiación Digital y la estrategia de formación en las sedes beneficiarias de 2.011 en la región 1 (Atlántico, Bolívar, Chocó, Córdoba, San Andrés, Sucre) y región 2 (Cesar, La guajira, Magdalena y Norte de Santander).

El objetivo del presente proyecto es diseñar un modelo de programación lineal que permita encontrar las rutas óptimas que deben seguir los Delegados de CPE (Universidad Tecnológica de Bolívar) hacia las sedes tipo B beneficiarias, las cuales minimicen el tiempo total de traslado.

El presente documento se estructuró en 12 capítulos. En el primer capítulo se abarcó la introducción al proyecto brindando una panorámica de lo que se comprende el documento, así como los objetivos generales y específicos de la investigación. En el segundo y tercer capítulo, presenta la información referente al marco teórico y conceptual de los modelos de Ruteo de Vehículos. En el cuarto capítulo, se resalta la metodología utilizada actualmente por CPE para la asignación de las sedes tipo B.

El quinto capítulo, explica la caracterización de los procesos de instalación, legalización y cierre, los cuales son llevados a cabo por los Delegados de CPE en las sedes beneficiarias. En el sexto capítulo, se plantean las variables, parámetros y restricciones que se utilizarán en la construcción del modelo. En el séptimo capítulo, se explica la construcción de las matrices de costo, las cuales representan un punto clave para la obtención de los resultados del modelo.

En el octavo capítulo, define la formulación matemática a utilizar en la construcción del modelo. En el noveno capítulo, se explica la construcción del modelo en GAMS, así como el procedimiento utilizado para la selección del solver y las alternativas de la situación inicial. En el décimo capítulo, se analizan las

diferentes soluciones encontradas en el modelo y se procede a la selección de la que muestre mejor desempeño. En el undécimo capítulo, se realiza la comparación de los resultados obtenidos en el modelo vs la asignación realizada por CPE. Por último, en el capítulo doceavo se plantea la planeación de actividades derivada de los resultados obtenidos en el modelo, para luego detallar las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Computadores para Educar (CPE), ha diseñado las Etapas de la Estrategia de Acceso y Formación (*Selección, Alistamiento de Aulas, Despacho, Entrega, Retoma, Formación, Instalación, Legalización y Cierre*), con el fin de tener identificados los procesos que debe cumplir cada uno del personal involucrado en el programa de CPE y el tiempo en el cual deben desarrollar dichas actividades.

Para el caso de la etapa de Instalación, Legalización y Cierre, CPE no tiene un tiempo establecido para que los Delegados realicen esta labor, pero teniendo en cuenta la ruta que los Delegados elijan seguir, así será el tiempo que estos demoraran, por lo tanto a mayor duración de esta etapa, mayor será la duración del proyecto. Por lo tanto, es clave que la selección de las rutas sea la mejor, con el fin de evitar desplazamientos innecesarios que conlleven a un aumento en los tiempos de traslado.

En la actualidad, la selección de los municipios y las Sedes asignadas a los Delegados la realiza CPE de forma empírica, ya que no cuenta con fundamentos matemáticos que garanticen que la asignación es la correcta. De igual forma la decisión de que ruta deben seguir los Delegados para cumplir con el recorrido de los municipios de las Sedes asignadas va por parte del Delegado, el cual basándose en la experiencia que tiene con el programa decide que ruta seguir.

A raíz de esta situación se han presentado situaciones en las que los Delegados han realizado traslados innecesarios por la ruta escogida, afectando así mismo el tiempo que utilizan para su desplazamiento. Es por esta situación que se hace

necesario la implementación de un modelo de programación lineal, asociado a problemas de ruteo de vehículos, lo cual permita realizar la asignación de los municipios de las Sedes y la selección de las rutas óptimas que deben visitar los Delegados, con el fin, de minimizar el tiempo de traslado de un municipio a otro para la atención de la Sedes beneficiarias.

## **1.2 ELEMENTOS DEL PROBLEMA**

Computadores para Educar (CPE) con el fin de llevar las herramientas tecnológicas al aprendizaje de los niños, niñas y jóvenes de las comunidades educativas colombianas, conforma un equipo de Delegados capacitados en todas las actividades de gestión, infraestructura y formación, el cual debe trasladarse a la zona donde se encuentre la sede educativa que será beneficiada.

Para llevar a cabo el proyecto, CPE ha dividido al territorio nacional en 7 regiones, con el fin de prestar un mejor servicio a las sedes beneficiadas, brindando un mejor acompañamiento a las mismas. La Universidad Tecnológica de Bolívar como entidad coordinadora en el programa CPE, tiene asignada las siguientes regiones para realizar la Fase de Gestión e Infraestructura:

- Región 1: Conformada por Atlántico, Bolívar, San Andrés, Córdoba y Sucre. Para esta región se tiene asignada 1184 sedes localizadas en 95 municipios, para la cual se han aprobado 61 Delegados para apoyar todos los procesos y actividades.
- Región 2: Conformada por Cesar, la guajira, Magdalena y Norte de Santander. Para esta región se tiene asignada 981 sedes localizadas en 65

municipios, para la se han aprobado 54 Delegados para apoyar todos los procesos y actividades.

Para CPE, es de vital importancia determinar el número de municipios que se debe asignar a cada Delegado, así como la ruta que éste debe seguir, con el fin de brindar un servicio de calidad a las sedes beneficiarias del programa CPE.

Actualmente dicha asignación se ha realizadobasándose en la cercanía de los lugares en donde se encuentre el Delegado, pero sin tener en cuenta una herramienta que le garantice la correcta asignación de los municipios a los Delegados, por lo tanto CPE no ha podido tener un control exacto sobre el tiempo que debe demorar el cumplimiento del plan de actividades.

La etapa crítica se encuentra en el ruteo que debe realizar los delegados para ir a visitar los municipios de las sedes y proceder a hacer la instalación, legalización y cierre. Los delegados deben visitar las sedes que CPE les ha asignado y, teniendo en cuenta su experiencia en los traslados realizados en anteriores ejercicios, debe decidir que ruta va a seguir definiendo la secuencia de las sedes a visitar. En este punto el delegado solamente tiene como herramienta de decisión su destreza y practica en los ejercicios anteriores, sin tener certeza de que la secuencia que está definiendo optimiza sus recursos y tiempos de traslado.

### **1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

El presente proyecto tiene como eje un tema que a lo largo del tiempo ha tenido gran impacto entre las diferentes entidades que quieren mejorar su sistema de transporte a lo largo de todo el mundo: el Ruteo de Vehículos. Nuestra

investigación se encuentra enfocada en la asignación de los municipios de las sedes tipo B a los Delegados del Programa de Computadores para Educar, realizada por la Universidad Tecnológica de Bolívar, como entidad coordinadora, en 9 Departamentos. Se ha definido desarrollar el proyecto solo en las sedes Tipo B debido a que durante los últimos años ha ido aumentando su participación en la asignación realizada por CPE, y el programa estima que este comportamiento se verá incrementado en los próximos años. Esta situación conlleva a darle mayor importancia a este tipo de sedes ya que un análisis de su correcta asignación tendrá mayor impacto en los próximos ejercicios de CPE.

Para llevar a cabo los estudios de las sedes beneficiadas por Computadores para Educar, se utilizaron diversos métodos, entre los cuales se encuentran recopilación de información, análisis de las características de tiempo de tránsito y variabilidad, ruteo de vehículos, entre otros, y conocimientos en el manejo del software para la solución del modelo. Estas y otras herramientas sirvieron de base para la investigación, puesto que permitió tener los suficientes fundamentos para realizar la asignación y definición de la ruta óptima que deben recorrer los Delegados de CPE. Lo anterior, permitirá realizar el análisis de la información y poder comparar los resultados obtenidos en la asignación realizada por CPE en el año 2011 con la obtenida en el modelo.

#### **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son las rutas óptimas que deberán tomar los delegados de Computadores para Educar que minimicen el tiempo de traslado entre los municipios de las sedes tipo B?

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Implementar un modelo de programación lineal que permita encontrar las rutas óptimas que minimicen el tiempo de traslado de los delegados a los municipios de las sedes beneficiadas del programa Computadores para Educar de la UTB, con el fin de realizar una planeación de actividades para el año 2011 y comparar con la realizada por esta entidad, la cual servirá de base para los siguientes ejercicios.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- a.** Recolectar información de la Dirección del programa de Computadores para Educar correspondiente al año 2011, así como la de otras fuentes asociadas al problema, a través del acceso a las base de datos de dichas entidades, con el fin de realizar un análisis detallado que muestre el comportamiento respecto a costos y tiempos de traslado.
- b.** Realizar una revisión de los modelos de programación lineal (PL) en ruteo de vehículos a través de la búsqueda en la literatura científica especializada en el tema, con el fin de encontrar un modelo que se ajuste a la situación del problema planteado.
- c.** Identificar y declarar las variables, determinar el criterio que rige la función objetivo, a través del análisis recolectado de los datos históricos y la licitación para diseñar el modelo de PLE y la función objetivo.

- d.** Determinar las restricciones a tener en cuenta, a través del análisis de la información del año 2011 referente a los traslados realizados por los delegados formadores hacia los municipios de las sedes beneficiadas, para la creación de un modelo de programación lineal.
- e.** Calcular los coeficientes de costo, coeficientes tecnológicos y disponibilidad de recursos, estableciendo indicadores de tiempo de traslado de los datos del año 2011, utilizando herramientas estadísticas, con el fin de construir las restricciones que estarán involucradas en el modelo.
- f.** Diseñar un modelo de programación lineal, teniendo en cuenta las variables y restricciones que afectan el sistema, con el fin de establecer las rutas óptimas que deben seguir los Delegados Formadores en el traslado hacia los municipios de las sedes educativas beneficiadas.
- g.** Hallar la solución del modelo empleando un software especializado e interpretación de la misma, para realizar la evaluación de su desempeño de acuerdo a los indicadores anteriormente establecidos.
- h.** Comparar los resultados obtenidos del modelo con los datos del año 2011, teniendo en cuenta los indicadores de desempeño relacionados con el tiempo y costo de traslado, con el fin conocer las mejoras obtenidas en el desempeño del sistema con los resultados del modelo.
- i.** Realizar la planeación de actividades para el año 2011, basado en los resultados obtenidos en los indicadores de desempeño del modelo, con el fin de crear lineamientos que sirvan de guía para la realización de las actividades durante el presente año

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

Computadores para Educar (CPE), con su objetivo de querer llegar a las comunidades educativas que tengan poca o ninguna herramienta tecnológica apta para el aprendizaje de los estudiantes, requiere llevar a cabo una selección de las rutas que faciliten el traslado de los Delegados desde las sedes de CPE a las sedes de destino.

Las principales sedes beneficiadas por el programa de CPE, se encuentran en su gran mayoría en las zonas rurales y de difícil acceso por el estado de las vías, por lo tanto, el no realizar una adecuada selección de las rutas, traerá como consecuencias la no utilización óptima de los recursos, provocando costos excesivos y demoras en el traslado hacia los municipios de las sedes beneficiadas, en el cumplimiento de la planeación de tareas y compromisos contractuales e incluso afectar la calidad de las mismas.

De acuerdo a lo anterior, se propone diseñar un modelo de programación lineal con el fin de establecer las rutas óptimas que deben seguir los Delegados, en el traslado hacia los municipios de las sedes educativas beneficiadas para su capacitación. Para su diseño se tendrán en cuenta todas las variables y restricciones que afectan el sistema, en términos de tiempos y costos de traslado hacia las comunidades educativas, basándonos en los datos históricos que tiene la Dirección del programa CPE correspondiente a los años 2009 y 2010 así como información recolectada de otras fuentes asociadas al problema.

Durante el 2011, CPE necesitó realizar una planeación de actividades, que contemplara el tiempo que les tomará a los Delegados, realizar el recorrido por todas las sedes beneficiadas que les corresponde visitar. Actualmente para el proceso de asignación de las rutas para los delegados se realiza de la siguiente

forma: cada delegado va a un municipio con un número previo de sedes asignadas, dándole los recursos de tiempo y financieros para completar sus actividades de acuerdo al plan que inicialmente se desarrolla para el transcurso del proyecto, teniendo en cuenta los avances que debe presentar cada proceso en cada periodo establecido. De acuerdo a lo anterior la asignación de las sedes y, por consiguiente las rutas entre los municipios, son asignadas de acuerdo a la experiencia que tiene el programa CPE, sin tener una herramienta que le garantice el aprovechamiento del tiempo y los recursos financieros destinados para el cumplimiento del programa.

El modelo de programación lineal servirá además, de base para construir este plan de actividades, brindando información acerca de la duración de las diversas tareas que deba realizar cada delegado y establecer de forma más precisa, la cantidad de recursos económicos que necesitará en su trayecto, hasta atender a cada una de las sedes.

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 LOGISTICA**

La logística, es definida por la Real Academia Española “RAE”, como el “conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribuciones”.

Además, la logística cubre la gestión y la planificación de las actividades de los departamentos de compras, producción, transporte, almacenaje, manutención y distribución.

Conocemos que el objetivo principal del mercadeo es incitar la demanda, el de la logística será principalmente satisfacerla. La logística no es una actividad funcional, sino un punto de referencia; es una manera de pensar que permitirá incluso reducir la incertidumbre en un futuro desconocido.

A su vez, la logística cumple una labor esencial en la distribución, sea de mercancías, productos semi-terminados, materias primas, entre otros., debido a que el cliente logre la satisfacción que hagan del servicio un punto a favor de la empresa.

En conclusión podemos decir que una buena logística logrará la satisfacción del cliente y una reducción de costos en la empresa, así mismo la competitividad que le dará con otras empresas. La logística también depende de los servicios como resultado de los costos totales más bajos en la entrega de los productos.

La transportación es un área de decisiones clave en la mezcla de la logística. Exceptuando el costo de adquisiciones, la transportación absorbe, en promedio,

un porcentaje más alto de los costos de logística que cualquier otra actividad logística. Aunque las decisiones sobre el transporte se expresan en una variedad de formas, las principales son la selección del modo, el diseño de la ruta, la programación de los vehículos y la consolidación del envío<sup>2</sup>.

**LOGISTICA DEL TRANSPORTE:** La logística del transporte, como un servicio, debe mantener controles sobre los flujos de negocio, componentes y productos, mientras que al mismo tiempo proporciona suficiente flexibilidad para reaccionar a los rápidos cambios en la demanda del mercado. Existen varios factores de vital importancia al hablar de la importancia de la logística del transporte, Flexibilidad, Rapidez y Fiabilidad, debido a que la logística del transporte debe ser adaptable a las variaciones en las demandas del mercado y a las circunstancias imprevistas, reducir el tiempo en que los productos son entregados al consumidor final, y la reducción de riesgos por la interrupción de suministros de mercancías, materias primas, entre otros, que ayuden a mantener en menor escala un inventario de seguridad.

**PARTES DE LA LOGÍSTICA:** La planeación logística aborda cuatro áreas principales de problemas: niveles de servicio al cliente y decisiones de transportación. La planeación logística puede determinarse como un triángulo de toma de decisiones de logística. Estas áreas se interrelacionan y deberán ser planeadas como una unidad, aunque es común planearlas en forma independiente. Cada una de ellas ejerce un impacto importante sobre el diseño del sistema.

---

<sup>2</sup> Fuente: Fuente: BALLOU, Ronald H. Logística: Administración de la Cadena de Suministros. Cap. 7. Edición 5. Editorial Prentice Hall.

**CARACTERISTICAS BASICAS DEL SERVICIO DE TRANSPORTE<sup>3</sup>:** Las características básicas a tener en cuenta en el servicio de transporte son: precio, tiempo de transito promedio, variación del tiempo de tránsito, y perdidas y daños.

**PRECIO:** El precio del servicio de transporte para un consignatario será simplemente la tarifa de línea para el desplazamiento de bienes y cualquier cargo accesorio o terminal por servicio adicional proporcionado.

**TIEMPO DE TRANSITO Y VARIABILIDAD:** El tiempo de entrega (en tránsito) se refiere por lo general al tiempo promedio de entrega que le toma a un envío desplazarse desde su punto de origen a su destino. Los distintos modos de transportación varían según la posibilidad de proporcionar una conexión directa entre los puntos de origen y destino. Variabilidad se refiere a diferencias ordinarias que ocurren entre los envíos por diferentes modalidades. Los envíos que tienen los mismos puntos de origen y de destino y que se desplazan sobre la misma modalidad no estarán necesariamente en tránsito durante el mismo periodo debido a los efectos del clima, la congestión del tráfico, el número de paradas, y las diferencias en el tiempo para consolidar los envíos.

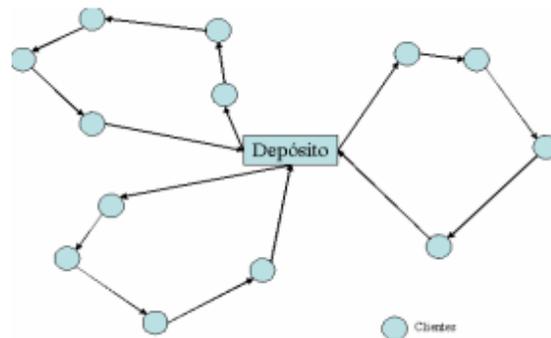
## **2.2 RUTEO DE VEHICULOS**

El ruteo de vehículos, como su nombre lo indica, consiste en determinar rutas para un grupo de vehículos que debe salir de un depósito y recorrer determinados puntos (clientes) una sola vez y regresar al depósito, de manera que minimice la distancia total recorrida por todos los vehículos; una representación gráfica del ruteo de vehículos se muestra a continuación.

---

<sup>3</sup> Fuente: BALLOU, Ronald H. Logística: Administración de la Cadena de Suministros. Cap. 6. Edición 5. Editorial Prentice Hall.

**Ilustración 1: Representación gráfica del VRP**



- Fuente: SANDOYA, Fernando. *Métodos Exactos y Heurísticos para resolver el Problema del Agente Viajero (TSP) y el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)*. Año 2007. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

El ruteo de vehículos se ha convertido en un problema, debido a que muchas veces el vehículo no llega a tiempo a su destino, se generan clientes insatisfechos; es por esto, que ha sido trabajado en diversos casos de aplicación, dependiendo de las características principales de cada situación, buscando la mejor herramienta que permita una solución óptima y minimice el tiempo de entrega, logrando excelente servicio prestado, y los clientes satisfechos.

Algunos de los objetivos más frecuentes en el ruteo de vehículos, consisten en minimizar el costo total de operación, minimizar el tiempo total de transporte, minimizar la distancia total recorrida, minimizar el tiempo de espera por parte del cliente, maximizar el beneficio del mismo, maximizar el servicio al cliente, minimizar la utilización de vehículos, entre otros. Es por esto que, muchos autores que han abordado este tema desde diferentes puntos de vista, haciendo uso de la programación lineal como un lenguaje para expresar las características y parámetros permitiéndoles a otros, hacer uso de dichos parámetros para emplearlos en cualquier método de solución del problema, o a su vez, como punto de inicio para la solución del mismo.

## 2.3 PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal se refiere a varias técnicas matemáticas relacionadas que se utilizan para asignar recursos limitados entre demandas en competencia de una manera óptima.<sup>4</sup>

La programación lineal es el método más utilizado entre las técnicas matemáticas de optimización, a su vez ha sido aplicado en muchos problemas a lo largo del tiempo, en la que destacamos la administración de operaciones, el ruteo de vehículos, optimización de recursos, transporte, entre otros; también han sido utilizados los modelos de programación lineal para conseguir rápidamente conocimientos sobre la actual condición de recolección y distribución de productos de una empresa, así como la reubicación de depósitos o de la misma empresa como tal.

Algunos casos especiales de programación lineal, tales como los problemas de flujo de redes y problemas de flujo de mercancías se consideraron en el desarrollo de las matemáticas lo suficientemente importantes como para generar por si mismos mucha investigación sobre algoritmos especializados en su solución, una serie de algoritmos diseñados para resolver otros tipos de problemas de optimización constituyen casos particulares de la más amplia técnica de la programación lineal.<sup>5</sup>

A través de los tiempos, las ideas de programación lineal han inspirado muchos de los conceptos centrales de la teoría de optimización tales como la dualidad, la descomposición y la importancia de la convexidad y sus generalizaciones. Del

---

<sup>4</sup>CHASE, Richard; AQUIANO, Nicolás; y JACOBS, Robert. Administración de Producción y Operaciones, ED. McGraw – Hill, 8 Edición. P. 291

<sup>5</sup>LOOMBA, N.P. Linear Programming: An introductory Analysis. McGraw – Hill, New York, 1964

mismo modo, la programación lineal es muy usada ya sea para aumentar al máximo los ingresos o reducir al mínimo los costos de un sistema de producción. Algunos ejemplos son la mezcla de alimentos, la gestión de inventarios, la cartera y la gestión de las finanzas, la asignación de recursos humanos y recursos de máquinas, la planificación de campañas de publicidad, entre otros.

### **3. MARCO TEÓRICO**

Para el desarrollo de este proyecto es necesario tener un claro conocimiento de los conceptos fundamentales a tratar a lo largo del proyecto.

El problema de ruteo de vehículos, abarca la temática de logística del transporte, la cual se ha venido desarrollando desde hace muchos años, tomando como fundamento varias variantes o enfoques del problema, diferentes autores han descrito y solucionado los casos desde puntos de vista diferentes según sus características teniendo como base el TSP (Travelling SalesmanProblem) y VRP (VehicleRoutingProblem).

Entre los problemas de ruteo de vehículos que han sido estudiados se encuentran los siguientes:

#### **3.1 PROBLEMA DE LA RUTA MÁS CORTA:**

El problema de la ruta más corta incluye un juego de nodos conectados donde sólo un nodo es considerado como el origen y sólo un nodo es considerado como el nodo destino. El objetivo es determinar un camino de conexiones que minimizan la distancia total del origen al destino. El problema se resuelve por el “algoritmo de Dijkstra”.

Se trata de encontrar la ruta de menor distancia, o costo, entre el punto de partida o nodo inicial y el destino o nodo terminal.

En general la formulación con LP de este problema, desde una origen  $s$  a un destino  $t$  está dada por:

$X_{ij}$  = cantidad de flujo en la actividad  $(i, j)$  para toda  $i$  y  $j$  definida

$C_{ij}$ : duracion de la actividad  $(i, j)$  para toda  $i$  y  $j$  definida

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \\ \text{S. a} \quad & \sum_{j=1}^n X_{ij} - \sum_{k=1}^n X_{ki} = \begin{cases} 1, & i = s \\ -1, & i = t \\ 0, & \text{En los demás casos} \end{cases} \quad 1) \\ & X \geq 0, \quad \forall ij \end{aligned}$$

Fuente: BROWN, Evelyn y RAGSDALE, Cliff. Formulation the Multiple Traveling Salesperson Problem for a Grouping Genetic Algorithm.

En la restricción 1) se calcula la diferencia entre el flujo de nodos que entra al nodo  $i$  y lo que sale del mismo, siendo para el nodo destino  $-1$ , para el nodo origen  $1$  y para los demás casos (nodos intermedios)  $0$  ya que el flujo de nodos que entra será igual al que sale.

### 3.2 TRAVELLING SALESMAN PROBLEM (TSP):

Este problema, consiste en que un viajero que saliendo de una determinada ciudad, debe visitar una sola vez  $n-1$  ciudades diferentes y regresar al punto de partida. Si el costo de dirigirse a la ciudad  $j$  desde la ciudad  $i$  es  $C_{ij}$  ( $C_{ij} \neq C_{ji}$ ), se

debe determinar la secuencia de visita de ciudades, tal que el costo total asociado sea mínimo.

La formulación de este problema es la siguiente:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se visita a la ciudad } j \text{ después de visitar la ciudad } i \\ 0, & \text{si no se visita a la ciudad } j \text{ después de visitar la ciudad } i \end{cases}$$

$C_{ij}$ : El costo asociado a la visita de la ciudad  $i$  después de visitar  $i$

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$$\text{S. t } \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q} X_{ij} \geq 1, \quad \text{every } Q \subset V, \quad Q \neq \Phi$$

$$X_{ij} = 0, 1 \quad i, j = 1, \dots, n$$

Fuente: BROWN, Evelyn y RAGSDALE, Cliff. Formulation the Multiple Traveling Salesperson Problem for a Grouping Genetic Algorithm.

### 3.3 VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP)

El problema del ruteo de vehículos (*Vehicle Routing Problem*) es ya considerado un paradigma en la literatura especializada. Este problema supone la existencia de un depósito central que cuenta con una flota de vehículos y debe atender a un conjunto de clientes geográficamente dispersos. El objetivo del VRP es entregar

bienes a este conjunto de clientes con demandas conocidas, al mínimo costo, encontrando las rutas óptimas que se originan y terminan en el referido depósito. Cada cliente es servido una sola vez, para lo cual se asignan vehículos que llevaran la carga (demanda de los clientes que visitarán) sin exceder su capacidad máxima de transporte.<sup>6</sup>

### **3.4 VARIANTES DEL VRP<sup>7</sup>:**

Dependiendo de la instancia o parámetros del problema será la variante del problema VRP, existen variantes definidas para diferentes instancias como son:VRP con múltiples depósitos (MDVRP), VRP periódico (PVRP), VRP de entrega dividida (SDVRP), VRP estocástico (SVRP), VRP con recogidas y entregas (VRPPD), VRP con backhauls (VRPB), VRP con ventanas de tiempo (VRPTW)

#### **3.4.1 VRP con múltiples depósitos (MDVRP):**

Una empresa puede disponer de varios depósitos o almacenes desde los que suministra la demanda de sus clientes. Si los clientes están agrupados alrededor de los depósitos, entonces el problema puede verse como un conjunto de problemas independientes VRP. Pero si los clientes y los depósitos están mezclados, entonces se ha de resolver un problema MDVRP. Para resolver un problema MDVRP se necesita asignar los clientes a los depósitos. Para cada depósito se tiene una flota de vehículos. Cada vehículo que parte de un depósito, sirve a los clientes asignados a ese depósito y después regresa a dicho depósito.

---

<sup>6</sup>Fuente: DIAZ, Ocotlán y CRUZ, Antonio. El Problema del Transporte. Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Pág. 3

<sup>7</sup> Fuente: DIAZ, Ocotlán y CRUZ, Antonio. El Problema del Transporte. Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Pág. 3

El objetivo del problema es servir a todos los clientes minimizando el número de vehículos y la distancia total viajada.

#### **3.4.2 VRP periódico (PVRP):**

En el problema VRP clásico, el periodo de planificación es un día. En el caso del problema PVRP, el periodo de planificación se extiende a " $M$ " días. El objetivo es minimizar la flota de vehículos y el tiempo total de viaje. Un vehículo puede no regresar al depósito el mismo día de su partida. Durante el periodo de  $M$  días, cada cliente debe ser visitado al menos una vez.

#### **3.4.3 VRP de entrega dividida (SDVRP):**

Se trata de un problema VRP en el que se permite que un cliente pueda ser atendido por varios vehículos si el coste total se reduce. Esto es importante si el tamaño de los pedidos de un cliente excede la capacidad de un vehículo. El objetivo es minimizar la flota de vehículos y el tiempo total de viaje.

#### **3.4.4 VRP estocástico (SVRP):**

Se trata de un VRP en que uno o varios componentes son aleatorios. Por ejemplo: Clientes aleatorios. Un cliente aleatorio  $i$ , es un cliente que tiene una probabilidad  $p_i$  de estar presente y una probabilidad  $1-p$  de estar ausente. Demandas estocásticas: la demanda del cliente  $i$ ,  $d_i$ , tiene una determinada distribución de probabilidad. Tiempos estocásticos: el tiempo de servicio,  $t_i$ , y los tiempos de viaje  $t_{ij}$ , son variables aleatorias. Cuando algunos datos son aleatorios no es posible cumplir con todas las restricciones. Por tanto se puede llevar a cabo ciertas acciones correctivas cuando una restricción es violada.

#### **3.4.5 VRP con recogidas y entregas (VRPPD):**

Es un VRP en que cabe la posibilidad de que los clientes pueden devolver determinados bienes. Por tanto, se debe tener presente que los bienes devueltos por los clientes caben en el vehículo. Esta restricción hace más difícil el problema

de planificación y puede obligar a una mala utilización de las capacidades de los vehículos, un aumento de las distancias recorridas o a un mayor número de vehículos. Por todo lo dicho, se suelen considerar situaciones tales como que las entregas comienzan en un depósito y las recogidas se traen a la vuelta al depósito, de manera que no hay intercambio de bienes entre clientes. Otra alternativa es relajar la restricción de que todos los clientes deben ser visitados exactamente una vez. El objetivo es minimizar la flota de vehículos y el tiempo total de recorrido con la restricción de que el vehículo debe tener suficiente capacidad para transportar los bienes a entregar así como los recogidos para devolverlos al depósito.

#### **3.4.6 VRP con backhauls (VRPB):**

El VRPB es un VRP en que los clientes pueden de-mandar o devolver artículos. Por tanto se necesita tener en cuenta que los bienes que los clientes devuelven caben en el vehículo. Pero además, se debe cumplir que todas las entregas se realizan antes de las recogidas. Esto se debe al hecho de que los vehículos se cargan por la parte trasera y que la recolocación de la carga en los vehículos se considera antieconómica o no factible. Las cantidades demandadas y las recogidas se conocen de antemano. El VRPB es similar al VRPPD con la restricción de que en el caso del VRPB todas las entregas de una ruta se deben completar antes de las recogidas. El objetivo es encontrar un conjunto de rutas que minimiza la distancia total recorrida.

#### **3.4.7 VRP con ventanas de tiempo (VRPTW):**

Es un VRP con la restricción adicional de que se asocia una ventana de tiempo con cada cliente. Al cliente  $i$ , se le asocia la ventana de tiempo. Si un vehículo llega al cliente antes del instante  $e_i$  el vehículo espera hasta ese instante para atender al cliente. Si llega en el intervalo de la ventana de tiempo, el vehículo suministra la demanda en el momento de la llegada y finalmente si el vehículo llega con posterioridad a  $l_i$  entonces el cliente queda sin atender. El objetivo es

minimizar la flota de vehículos, el tiempo total de viaje así como el tiempo total de espera al suministro de los clientes.

### **3.5 COEFICIENTES TECNOLÓGICOS**

Son los coeficientes de las variables en las ecuaciones de las restricciones. Los coeficientes representan la cantidad de recursos necesarios para producir una unidad de la variable

La revisión bibliográfica descrita en la Marco Teórico, tiene como fin identificar las características propias de cada modelo, y de esta forma ver cuál de los modelos descritos tiene más similitud con las características del caso. En el Capítulo 5, se describen cada una de las características y como están relacionadas con los problemas de ruteo de vehículos

## **4. METODOLOGÍA UTILIZADA POR COMPUTADORES PARA EDUCAR EN LA ASIGNACIÓN DE MUNICIPIOS CON SEDES TIPO B A LOS DELEGADOS**

### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE ASIGNACIÓN**

Conscientes de la necesidad de ofrecer un proceso integral a las comunidades educativas beneficiadas, CPE diseñó desde el año 2004 la estrategia de Acompañamiento Educativo. Inicialmente la estrategia de Acompañamiento estaba conformada por 2 grandes etapas: Etapa de Gestión e Infraestructura y Etapa de Formación y Acompañamiento, las cuales se desarrollaban de manera independiente.

Con el fin de ofrecer una intervención más pertinente a las poblaciones, en cuanto a necesidades educativas y de acceso a las TIC, Computadores para Educar ha decidido integrarlas. Para ello, ha rediseñado e integrado el proceso, concibiéndolo como "*Estrategia De Acceso Y Formación Para La Apropiación Pedagógica De Las TIC*"; la cual tiene como fin, buscar el máximo aprovechamiento de los recursos tecnológicos donados, así como la sostenibilidad de la estrategia en las sedes beneficiarias.

La Estrategia es un modelo integral de intervención y trabajo, que se desarrolla alrededor de tres ejes: *gestión institucional, infraestructura tecnológica y pedagogía*; se desarrolla durante un tiempo determinado, en las sedes educativas que se benefician con los computadores que el Programa entrega. La Etapa de Acceso y Formación se ejecuta mediante la suscripción de contratos con Universidades o Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico, de reconocida idoneidad y trayectoria en procesos de incorporación de TIC en la educación.

Computadores para Educar ha distribuido el país en regiones con el propósito de ser más eficientes y cualificar la intervención en las sedes educativas beneficiadas. Para el desarrollo de la *Estrategia de Acceso y Formación*, Computadores para Educar categorizó las sedes educativas objeto de beneficio en 2011 de la siguiente manera:

***“Sedes tipo A:*** *Corresponde al conjunto total de sedes educativas que se beneficiaran durante el año 2011 a través de las estrategias de penetración. En este tipo de sedes se desarrollan todas las etapas de la estrategia de Acceso y Formación. Para las sedes de penetración se estima que el 90% de sedes están ubicadas en zona rural y 10% en zona urbana.*

***Sedes tipo B:*** *Corresponde al conjunto total de sedes educativas que se beneficiaran durante el año 2011 a través de las estrategias de reposición y densificación. En este tipo de sedes se desarrollan las etapas de la estrategia de Acceso y Formación, exceptuando las etapas de Administración y Sostenibilidad, y la de Formación. Para este tipo de sedes de reposición y densificación se estima que el 75% de ellas, son urbanas y 25% son rurales.*

***Sedes tipo C:*** *Corresponde al conjunto total de sedes educativas beneficiadas por Computadores para Educar durante el año 2010, que actualmente cuentan con equipos entregados y funcionando. Para este grupo de sedes se desarrollará únicamente la etapa de formación descrita más adelante.*  
*Para las sedes beneficiarias en este grupo, el 83% están ubicadas en zona rural y el 17% restante en zona urbana.*

***Sedes tipo D:*** *Corresponde al conjunto total de Bibliotecas y Casas de la Cultura que se beneficiaran durante el año 2011 con la donación de equipos de cómputo por parte del Programa. En este tipo de sedes se desarrollan todas las etapas de la estrategia de Acceso y Formación, con una adaptación de las actividades en la*

*etapa de formación. El 100% de las sedes que conforman este grupo se encuentran en zona urbana.”<sup>8</sup>*

Con base en la relación de actividades a realizar por cada tipo de sede, Computadores para Educar distribuyó el país en regiones, asignando a cada departamento un cupo de beneficio para cada estrategia. En el Anexo 1, se puede apreciar los Departamentos y número de sedes que tienen asignados cada región.

El presente trabajo tiene como foco las sedes tipo B de las regiones 1 y 2, siendo estas las que se encuentran a cargo de Universidad Tecnológica de Bolívar como entidad coordinadora del programa CPE.

**Tabla 1: Total sedes tipo B por región**

	<b>Total Sedes Tipo B</b>
<b>Región 1</b>	458
<b>Región 2</b>	572

*Fuente: Elaboración propia. Datos suministrados por la oficina de CPE*

Computadores para Educar maneja varias estrategias acopladas al Acceso y Formación para la apropiación pedagógica de las TIC, estas se encuentran diseñadas por etapas, clasificadas en los tres ejes que sustentan la estrategia: Gestión Institucional, Infraestructura Tecnológica y Eje de Pedagogía.

---

<sup>8</sup>Fuente: Oficina de CPE sede Tecnológica de Bolívar. Archivo: Estrategias de Acceso y Formación.

**Ilustración 2: Etapas de las Estrategias de Acceso y Formación de Computadores para Educar**



*Fuente: Oficina CPE. Especificaciones estrategia Acceso y Formación.*

Como se puede apreciar, CPE ha diseñado etapas para el desarrollo de actividades específicas, que contribuyen a cumplir los objetivos de la estrategia para cada uno de los ejes señalados; las etapas son:

- *“Selección: Esta etapa hace referencia a todas las actividades desarrolladas por Computadores para Educar (asesores, coordinadores, delegados formadores) orientadas a definir cada una de las sedes educativas que recibirán el beneficio de CPE durante un periodo de tiempo determinado.*
- *Alistamiento: En esta etapa el delegado formador gestiona y garantiza que las condiciones técnicas de las aulas a su cargo se encuentren en perfectas condiciones para la entrega de los equipos.*

- *Despacho, Entrega y Retoma: Esta etapa hace referencia a todas las actividades desarrolladas por Computadores para Educar (asesores, coordinadores, delegados formadores, empresas transportadoras) orientadas a realizar el despacho, entrega y retoma de los equipos de cada una de las sedes educativas que recibirán el beneficio de CPE durante un periodo de tiempo determinado. En desarrollo de esta etapa, se debe verificar el despacho, entrega y alistamiento de los equipos a retomar de manera pertinente y oportuna.*
- *Instalación y Legalización: Esta etapa hace referencia a todas las actividades desarrolladas por el delegado formador del Programa, orientadas a lograr la correcta y oportuna instalación de los equipos y a la suscripción del acta de entrega e instalación que formaliza la donación de los equipos de cómputo a las sedes educativas beneficiadas. La etapa inicia una vez los computadores se encuentran en las instalaciones de las sedes educativas beneficiadas por CPE durante el 2011.*
- *Administración y Sostenibilidad: Hace referencia a todas las actividades diseñadas por Computadores para Educar orientadas a generar un sentido de pertenencia por parte de la comunidad educativa beneficiada hacia los recursos donados, así como generar buenas prácticas de administración, sostenibilidad y uso de la Mesa de Ayuda Técnica ofrecida por el Programa.*
- *Formación: Esta etapa hace referencia a todas las actividades desarrolladas por el delegado formador del Programa, orientadas a lograr la correcta y oportuna instalación de los equipos y a la suscripción del acta de entrega e instalación que formaliza la donación de los equipos de cómputo a las sedes educativas beneficiadas. La etapa inicia una vez los computadores se encuentran en las instalaciones de las sedes educativas beneficiadas por CPE durante el 2011. En desarrollo de esta etapa, se debe*

*verificar el estado de los equipos al momento de la instalación, garantizar la puesta en funcionamiento de los mismos, reportar oportunamente todas las novedades que encuentren en campo y suscribir el acta de entrega e instalación que legaliza la donación de los computadores.”<sup>9</sup>*

Cada etapa cuenta con objetivos claramente definidos, y con un conjunto de actividades, que deben desarrollarse para el cumplimiento del objetivo general de la estrategia. Del mismo modo, se contemplan unos productos a entregar así como indicadores de seguimiento.

Las estrategias utilizadas para clasificar las sedes son: Penetración, Densificación y Reposición, las cuales están descritas en el glosario. Basado en las necesidades que tiene las sedes, se establece cuál de estas estrategias es aplicable a cada sede y poder lograr el objetivo de beneficiar con el número de computadores que requiere la institución educativa.

Los Delegados participan en todas las tres estrategias y en todas las etapas, pero tienen mayor énfasis en las etapas de instalación, legalización y cierre, por tal motivo este trabajo se desarrollara teniendo en cuenta la participación del Delegado en estas 3 etapas.

#### **4.2 DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNACIÓN REALIZADA POR CPE DE LOS MUNICIPIOS CON SEDES TIPO B A LOS DELEGADOS EN EL AÑO 2011**

Con el fin de conocer con más claridad cómo ha sido la asignación de las sedes que realiza CPE a cada uno de los delegados y así tener información consistente para comparar con los resultados del modelo, se ha realizado una descripción de

---

<sup>9</sup>Fuente: Oficina de CPE sede Tecnológica de Bolívar. Archivo: Estrategias de Acceso y Formación.

los datos del año 2011 suministrados por CPE. La información presentada en el presente capítulo, es de acuerdo al procedimiento empleado en la actualidad por el programa de CPE.

En la siguiente tabla se pueden apreciar el número de sedes tipo B asignadas a cada Departamento en la Región 1 y la Región 2.

**Tabla 2: Numero de sedes asignadas a cada Departamento de la Región 1 y en la Región 2 en el 2011**

REGION 1				
DEPARTAMENTOS	NUMERO DE MUNICIPIOS	NUMERO DE SEDES TIPO B	NUMERO DE DELEGADOS	COMPUTADORES ASIGNADOS
ATLÁNTICO	6	65	4	970
BOLÍVAR	17	118	9	1491
CÓRDOBA	21	180	13	2417
SUCRE	14	95	6	971
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	<b>458</b>	<b>32</b>	<b>5849</b>
REGION 2				
DEPARTAMENTOS	NUMERO DE MUNICIPIOS	NUMERO DE SEDES TIPO B	NUMERO DE DELEGADOS	COMPUTADORES ASIGNADOS
CESAR	19	150	4	1615
LA GUAJIRA	2	18	2	162
MAGDALENA	17	236	7	2150
NORTE DE SANTANDER	27	168	8	1795
<b>TOTAL</b>	<b>65</b>	<b>572</b>	<b>21</b>	<b>5722</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>123</b>	<b>1030</b>	<b>53</b>	<b>11571</b>

*Fuente: Elaboración propia. Datos suministrados por la oficina de Computadores para Educar*

En la tabla anterior, se observa la asignación realizada por CPE en el año 2011, el total de sedes manejadas en la Región 1 fue de 458 sedes tipo B y en la Región 2 un total de 572 sedes tipo B, de las cuales tienen mayor concentración en los Departamentos de Magdalena y Córdoba. De igual forma, en el año 2011

estuvieron involucrados un total de 55 delegados para los 8 departamentos, los cuales tienen asignados 11.571 computadores.

En la siguiente imagen se observan cada uno de los Departamentos descritos anteriormente, los puntos representan la cantidad de Sedes tipo B que deben visitar cada uno de los Delegados de CPE en cada uno de los departamentos.

**Ilustración 3: Departamentos Beneficiarios del Programa de CPE**



Con la recopilación de estos datos, se realizó el cálculo de indicadores claves, con los cuales se analizan los resultados y se evalúan las bondades de la asignación del año 2011 comparadas con los resultados obtenidos por el modelo. Los indicadores se desarrollan con más claridad en el capítulo 11.

El desarrollo de las estrategias que se aplican en cada sede beneficiaria del programa de CPE, conlleva la implementación de actividades definidas, que se deben aplicar de forma secuencial.

## **5. CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE INSTALACIÓN, LEGALIZACIÓN Y CIERRE DE LOS DELEGADOS DE COMPUTADORES PARA EDUCAR**

Luego de conocer con claridad el caso de estudio, planteado en el Capítulo 1, en el cual esta detallado la descripción del problema, se pueden identificar las características que conforman el proceso. Para ello, se analizó cada una de las actividades que comprenden el proceso de Instalación, Legalización y Cierre, que realizan los delegados de CPE.

Se identificaron las características de la situación objeto de estudio, las cuales permitirán realizar una comparación con las características de los modelos de ruteo de vehículos, y de esta forma, ver cuál de estas últimas, se ajusta más a los objetivos que se quieren lograr con el desarrollo del presente proyecto.

### **5.1 CARACTERÍSTICAS DEL CASO EN ESTUDIO**

A continuación se describen las características de las actividades realizadas por los Delegados de Computadores para Educar, lo cual permite tener claridad sobre las consideraciones que se tienen en cuenta para llevar a cabo la atención de las sedes por parte de los delegados:

1. Se entiende por Depósito el lugar de origen del cual sale cada uno de los Delegados.
2. El delegado es el encargado de realizar la visita a cada sede saliendo desde el depósito.

3. Para la atención de las sedes, el delegado tiene que visitar cada sede asignada y garantizar que se realicen las estrategias de formación requeridas.
4. CPE asigna las sedes los delegados y son estos los que, de acuerdo a su experiencia, determinan la ruta que deben seguir para atender a todas las sedes asignadas.
5. La ruta de cada delegado debe ser realizada se determina para un periodo de 3 meses, siendo el tiempo estipulado para la realización de las actividades de Instalación, Legalización y Cierre.
6. Existe un único depósito del cual salen todos los Delegados.
7. La jornada regular para la cual se hace el ruteo tiene una duración de 8 horas diarias.
8. Se requerirá de una o más jornadas diarias para realizar las tres actividades en las Sedes Tipo B.
9. En todas las sedes tipo B se debe garantizar la realización de las tres actividades.
10. Se tiene una cantidad fija de delegados: en la actividad de instalación, legalización y cierre del programa de Computadores para Educar, se tiene una cantidad de delegados establecida por el programa CPE, los cuales son los encargados de garantizar que en cada sede tipo B se lleve a cabo cada actividad.

11. Se debe realizar cada una de las actividades en secuencia, siendo primero la instalación, segundo la legalización y por último el cierre.

12. El Delegado después de realizar todo su recorrido, debe terminar en el depósito.

Una vez identificadas cada una de las características del caso en estudio, se procede a realizar una comparación con cada uno de los problemas de ruteo de vehículos descritos en la *sección 3.4*, para luego realizar una ponderación, que permita ver cuál de los modelos existentes se ajusta mejor a las características del caso en estudio.

## **5.2 DESCRIPCION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CASO EN ESTUDIO EN TERMINOS DE MIP.**

Como metodología para desarrollar esta etapa, en primera instancia se definió cada una de las características del caso en estudio, para luego realizar la matriz comparativa de los modelos de ruteo de vehículos conocidos y así poder encontrar el modelo más afín. Cabe resaltar que los delegados en MIP se denominarán como vehículos y los municipios de las sedes como los destinos a visitar por cada vehículo.

A continuación, se presentan las características del caso de estudio en términos de MIP:

- **Cantidad de depósitos:** hace referencia al número de depósitos del modelo. Los depósitos del modelo se encuentran asignados según la ubicación de las sedes, con el fin de obtener la mayor cobertura con el

mínimo tiempo de respuesta. En el caso de estudio los delegados deben iniciar su ruteo en el depósito y terminarlo en él.

- **Cantidad de vehículos:** hace referencia al número de vehículos existente en cada una de las variantes de los problemas de ruteo de vehículos estudiados. El aspecto más importante a resaltar, es el impacto que tiene la reducción del tamaño de la flota en los tiempos del recorrido, a menor cantidad de vehículos, es posible que la asignación de los vehículos a los lugares de destino minimice su tiempo de traslado. Teniendo en cuenta que “n” es el número de vehículos asignados en cada región. En la tabla 3 se clasifican dependiendo de las características propias de cada uno de los problemas en:

- “1” si existe tan sólo un vehículo, o
- “1 ó n” si es posible tener más de un vehículo.

CPE realiza la asignación de la cantidad de delegados que se requieran para poder atender a todas las sedes bajo la cual tienen cobertura.

- **Cantidad de destinos:** Esta característica hace referencia al número de destinos por asignar a cada vehículo. En el caso en estudio, a cada delegado le es asignado un número de municipios con sedes tipo B a ser atendidas.
- **Un destino solo puede ser visitado una vez:** Todo destino debe ser atendido por un solo vehículo, lo cual a su vez implica que la cantidad de vehículos que salen de este destino debe ser igual a uno. Para CPE, cada municipio con sedes tipo B es asignado a un solo delegado, lo cual implica que debe ser visitada un sola vez y todas las actividades del programa deben ser realizadas solo por un delegado.

- **Lugar donde inicia el vehículo su recorrido:** hace referencia al lugar de salida del vehículo, teniendo en cuenta si el vehículo parte del depósito o desde otro punto de la ruta. Los delegados
- **El número de vehículos que salen y entran al depósito debe ser igual a la cantidad de vehículos establecido:** Con esta característica cada vehículo solo puede entrar y salir una vez del depósito, por lo cual su ruta empieza y termina en éste. El Computadores para Educar todos los delegados deben regresar al municipio donde inició su recorrido una vez termine su ruteo.
- **Periodo para cumplir con el recorrido:** cantidad de tiempo máxima que puede durar un vehículo en el recorrido de la ruta por cada uno de los destinos asignados. El periodo máximo para realizar el recorrido de acuerdo al cronograma de CPE es de 3 meses.
- **Número de destinos a visitar por cada vehículo:** hace referencia al número de destino que puede tener asignadas a un vehículo, teniendo en cuenta el número máximo de destinos que puede tener asignada. Para el caso en estudio el número máximo de municipios con sedes tipo B que puede visitar un Delegado es conocido y dependerá de la cantidad de municipios a asignar.
- **Duración de la jornada diaria:** hace referencia al tiempo diario máximo que cada Delegado le puede dedicar a una Sede, el cual es de 8 horas diarias.

- **Número de actividades a realizar por destino:** Hace referencia a las 3 estrategias que hay que llevar a cabo en cada Sede (Instalación, Legalización y Cierre)
  
- **Lugar donde regresa el vehículo luego de terminar la ruta:** Una vez cada delegado haya terminado la implementación de las tres estrategias en todas las sede de su ruta, éste debe regresar al depósito.

En la Tabla 3, se puede observar la comparación de las características del caso en estudio en términos de MIP con los modelos de Ruteo de Vehículos descritos en el marco teórico, con el fin de identificar cuál de estos, se ajusta más a la situación objeto de estudio.

Tabla 3: Comparación de características del caso en estudioVs las característicasde los modelos de ruteo de vehículos

PROBLEMAS	CARACTERISTICAS										
	Cantidad de vehículos	Cantidad de destinos	Cantidad de depósitos	Un destino solo puede ser visitado una vez	Lugar donde inicia el vehículo su recorrido	Número de vehículos que salen y entran al depósito es igual a la cantidad de vehículos establecido	Periodo para cumplir con el proceso	Número máximo de destinos por vehículo	Duración de la jornada diaria	Número de actividades a realizar por sede	Lugar donde regresa el vehículo luego de completar la ruta
<b>SITUACIÓN DE ESTUDIO</b>	1 ó n	K	1	Conocido	Deposito	Conocido	SI	Conocido	SI	Conocido	Depósito
<b>1. TSP</b>	1	K	1	Aplica	Deposito	No Aplica	NO	No Aplica	NO	No Aplica	Depósito
<b>2. VRP</b>	<b>1 ó n</b>	<b>K</b>	<b>1</b>	<b>Aplica</b>	<b>Deposito</b>	<b>Conocido</b>	<b>NO</b>	<b>Conocido</b>	<b>NO</b>	<b>No Aplica</b>	<b>Depósito</b>
<b>3. CVRP</b>	1 ó n	K	1	Aplica	Deposito	Conocido	NO	No Aplica	NO	No Aplica	Depósito
<b>4. VRPTW</b>	1 ó n	K	1	Aplica	Deposito	No Aplica	NO	No Aplica	NO	No Aplica	Depósito
<b>5. MDVRP</b>	1 ó n	K	D	Aplica	Deposito	No Aplica	NO	No Aplica	NO	No Aplica	Depósito
<b>6. SDVRP</b>	1 ó n	K	1	No aplica	Deposito	No Aplica	NO	No Aplica	NO	No Aplica	Depósito
<b>7. PVRP</b>	1 ó n	K	1	Aplica	Deposito	No Aplica	SI	No Aplica	NO	No Aplica	Depósito
<b>8. VRPPD</b>	1 ó n	K	1	Aplica	Deposito	No Aplica	NO	No Aplica	NO	No Aplica	Depósito

Fuente: Elaboración propia.

### **5.2.1 Ponderación de las características del caso en estudio**

Para encontrar cuál de los problemas de ruteo de vehículos se ajusta más a las características del caso, se le asignó a cada característica un peso, teniendo en cuenta que son 11 características, a cada una se le asignara un valor de 1 si aplica y 0 si no aplica. De esta forma, aquel problema de ruteo de vehículo que tenga más similitud con el caso en estudio será el utilizado para la realización del modelo en el software.

En la tabla 4, se puede apreciar los resultados de la matriz comparativa, asignando la ponderación de las características propias del caso con cada uno de los problemas de ruteo de vehículos:

Tabla 4: Ponderación de las características del caso con los modelos de ruteo de vehículos

RESULTADOS DE LA PONDERACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CASO CON LOS PROBLEMAS DE RUTEO DE VEHICULOS												
PROBLEMAS	CARACTERÍSTICAS											RESULTADO
	Cantidad de vehículos	Cantidad de destinos	Cantidad de depósitos	Un destino solo puede ser visitado una vez	Lugar donde inicia el vehículo su recorrido	Número de vehículos que salen y entran al depósito es igual a la cantidad de vehículos establecido	Periodo para cumplir con el proceso	Número máximo de destinos por vehículo	Duración de la jornada diaria	Número de actividades a realizar por sede	Lugar donde regresa el vehículo luego de completar la ruta	
SITUACIÓN DE ESTUDIO	1 ó n	K	1	Conocido	Deposito	Conocido	SI	Conocido	SI	Conocido	Depósito	11
1. TSP	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	5
2. VRP	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	8
3. CVRP	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	7
4. VRPTW	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	6
5. MDVRP	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	5
6. SDVRP	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	5
7. PVRP	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	7
8. VRPPD	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	6

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5, se pueden apreciar los resultados obtenidos una vez realizada la ponderación de las características del caso en estudio.

**Tabla 5: Resultados de la ponderación asignada a las características del caso**

<b>RESULTADOS DE LA PONDERACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CASO CON LOS PROBLEMAS DE RUTEO DE VEHICULOS</b>		
<b>PROBLEMAS</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>PORCENTAJE DE SIMILITUD</b>
<b>SITUACIÓN DE ESTUDIO</b>	11	100%
<b>1. TSP</b>	5	45%
<b>2. VRP</b>	<b>8</b>	<b>73%</b>
<b>3. CVRP</b>	7	64%
<b>4. VRPTW</b>	6	55%
<b>5. MDVRP</b>	5	45%
<b>6. SDVRP</b>	5	45%
<b>7. PVRP</b>	7	64%
<b>8. VRPPD</b>	6	55%

*Fuente: Elaboración propia.*

Al realizar la evaluación comparativa, entre las características del caso en estudio y las variantes del problema de ruteo de vehículos, se llegaron a las siguientes conclusiones:

El problema de ruteo de vehículo que mejor se ajusta a las características del caso en estudio, es el VRP (VehicleRoutingProblem) con una similitud en 8 de las 11 características en comparación, con un total del 73%; seguido por el CVRP (CapacitedVehicleRoutingProblem) y el PVRP (PeriodicVehicleRoutingProblem), con 7 características en similitud con un total del 64% cada una.

Debido a que el VRP es el que más similitud tiene con las características del caso a tratar, será este el cual se utilice para la aplicación del modelo en el software de

optimización, agregando las restricciones propias del caso. Para la solución del mismo, se va a dividir el problema en 6 VRP, teniendo en cuenta que se manejan 8 Departamentos, con 124 Municipios, 1030 Sedes Tipo B y 127 Delegados.

### **5.3 SUPUESTOS DEL CASO EN ESTUDIO**

Para que exista una mayor similitud del caso en estudio con el modelo seleccionado, se identificaron ciertos supuestos que permiten dar resultado a los problemas planteados, para ello, se declaran situaciones claves para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. Los siguientes supuestos tienen como objetivo dar solución a dichas situaciones.

1. La solicitud de los equipos se lleva a cabo al mismo tiempo en todas las sedes.
2. Los equipos llegan todos al mismo tiempo o con muy poca diferencia de tiempo.
3. El Delegado no tiene que estar en el momento de la recepción de los computadores en las sedes.
4. El tiempo de traslado entre sedes de un mismo municipio es igual para cada uno de los posibles desplazamientos que se puedan dar internamente, debido a que el presente proyecto tiene como fin realizar el ruteo entre municipios el tiempo entre sedes se tomara como despreciable.

5. El desarrollo de las tres estrategias en cada sede tienen una duración de un día, que equivale a 8 horas.
6. Se tomara que cada delegado duerme 8 horas diarias y tiene disponible para realizar el traslado entre sedes 8 horas.
7. Para que un Delegado pueda pasar de una sede a otra, debe haber terminado la implementación de las 3 estrategias (Instalación, Legalización y Cierre) en la sede en la que se encuentra.
8. Para el desarrollo del trabajo se entenderá que el Delegado al visitar cada sede no encuentra ninguna anomalía durante la revisión de los computadores, por lo tanto, puede proceder a realizar la actividad de instalación inmediatamente.
9. Todo aquel municipio cuyo número de sedes sea mayor o igual a 22 sedes Tipo B y/o sea un Depósito en el VRP, no se tendrá en cuenta en el modelo, ya que se desea llevar a cabo una planificación máxima de un mes. Para estos municipios se asignará un Delegado adicional, quien será el encargado de realizar el ruteo interno en cada uno de ellos.

## **6. IDENTIFICACIÓN Y DECLARACIÓN DE VARIABLES, PARÁMETROS Y RESTRICCIONES**

En la construcción de un modelo de programación lineal, uno de los primeros pasos que hay que tener en cuenta es identificación y declaración de las variables, parámetros y restricciones; ya que de esta forma se tiene claro que es lo que se quiere lograr con el modelo y con que limitantes se cuenta para ello.

### **6.1 DEFINICIÓN DE LA VARIABLE**

En el problema en estudio, CPE busca definir la asignación óptima para que los delegados vayan de una sede a otra, para lo cual deben decidir en primer lugar a cual municipio visitar desde el depósito y luego del municipio en el que se encuentra al siguiente y así sucesivamente, teniendo un criterio que le facilite tomar esta decisión. Para el presente proyecto, el criterio para esta definición es el tiempo de traslado de un municipio a otro, en donde se evalúan todas las posibilidades que tiene el delegado para hacer su siguiente movimiento, donde la decisión la definirá el municipio que se encuentre a menor tiempo. Esta decisión representa la variable que se va a trabajar en este proyecto, la cual es de tipo binaria que se activará siempre y cuando el delegado se dirige de una sede a otra.

## 6.2 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS

Los parámetros descritos en el modelo VRP son las siguientes:

- Cantidad de vehículos
- Deposito
- Número máximo de municipios por delegado

Para el cálculo del número máximo municipios por delegado se tuvo en cuenta la siguiente formula:

$$\# \text{ Maximo de municipios} \geq \frac{\# \text{ de municipios}}{\# \text{ de delegados}} + 3$$

La anterior formula tiene como fin brindarle flexibilidad al solver que se usó para hallar la solución del modelo, ya que al sesgarlo con la cantidad exacta de municipios, requeriría mayor cantidad de iteraciones para encontrar la solución, lo cual se puede apreciar en la sección 9.1. Con esta fórmula se asegura un margen de 3 municipios para ser asignados a los delegados.

## 6.3 DEFINICIÓN DE RESTRICCIONES

Las restricciones que se abarcan en el modelo VRP con las del caso son las siguientes:

- Los Delegados salen de un mismo Depósito.
- Existen  $p$  municipios que deberán ser asignados a los Delegados.
- Un municipio no puede ser atendido por más de un Delegado.
- Uno y solo un Delegado puede visitar un municipio.
- La cantidad de Delegados es constante, todos deben ser empleados y cada uno debe atender al menos a un municipio.

## 7. COEFICIENTES DE COSTO Y COEFICIENTES TECNOLÓGICOS

El problema planteado consiste en asignar cada una de los  $n$  municipios con sedes Tipo B a los  $m$  Delegados involucrados en el caso, el costo en el caso en estudio representa el tiempo que demora un Delegado en ir de un municipio a otro y atender las sedes tipo B que se encuentra en cada uno de ellos.

Para diligenciar la matriz de tiempos de ir de un municipio a otro, la información fue suministrada por los delegados de Computadores para Educar y los datos faltantes fueron obtenidos a través de Google Earth, el cual muestra la ruta más corta y el tiempo que demora en ir entre un municipio y otro. Adicionalmente, para hallar el tiempo de permanencia en un municipio, se tuvo en cuenta el número de sedes tipo B que deben ser atendidas, aplicando el supuesto 5 y 6 descrito en la sección 5.3.

Teniendo en cuenta lo anterior, el tiempo requerido para atender un municipio está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo Total} = (Tt_{ij} + (Tf_j * s))$$

Dónde:

$Tt_{ij}$ : Tiempo de ir del municipio  $i$  al municipio  $j$

$Tf_j$ : Tiempo fijo de permanencia en las sedes del municipio-

$s$ : Numero de sedes que hay en el municipio

$$Tf_j = \text{Tiempo de atencion de las sedes} + \text{Tiempo de descanso} \\ + \text{Tiempo de ir de una sede a otra}$$

Se ha estipulado que el Tiempo Fijo de Permanencia en cada sede ( $T_{fj}$ ) es de 24 horas, siendo que para descanso se asignan 12 horas, en las cuales está vinculado el tiempo de dormida, tiempo de cada comida y tiempo para arreglarse. Para atención de una sede y traslado a la siguiente están las restantes 12 horas, teniendo en cuenta que en promedio se demora en atención 8 horas, este dato a sido extraído basándonos en el número de computadores que se van a instalar en cada sede.

Por cada Departamento se realizó una matriz por municipio con los tiempos establecidos, y de esta forma determinar los municipios que debe visitar cada Delegado, teniendo en cuenta el número de sedes que hay en cada uno de ellos.

Se realizó un total de 6 matrices, por cada modelo VRP que se construiría.

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo están construidas las matrices de tiempo, teniendo en cuenta las formulas descritas anteriormente.

Ilustración 4: Ejemplo construcción de las matrices de tiempos

MATRIZ DE TIEMPO ENTRE MUNICIPIOS (Horas)						
$T_{ij} = 24$	POLONUEVO	SABANALARGA	BARANOA	SOLEDAD	BARRANQUILLA	LURUACO
Numero de Sedes	4	16	17	6	20	2
POLONUEVO	0	0.75	0.5	1.15	1.15	1
SABANALARGA	0.75	0	0.5	1.5	1	0.5
BARANOA	0.5	0.5	0	1	0.5	0.83
SOLEDAD	1.15	1.5	1	0	0.5	2
BARRANQUILLA	1.15	1	0.5	0.5	0	1.5
LURUACO	1	0.5	0.83	2	1.5	0
MATRIZ COMPUESTA DE TIEMPOS(Horas)						
MUNICIPIOS	POLONUEVO	SABANALARGA	BARANOA	SOLEDAD	BARRANQUILLA	LURUACO
POLONUEVO	=SI(D4=0;0;D4+(\$D\$3*\$B\$2))			145.15	481.15	49
SABANALARGA	96.75	0	408.5	145.5	481	48.5
BARANOA	96.5	384.5	0	145	480.5	48.83
SOLEDAD	97.15	385.5	409	0	480.5	50
BARRANQUILLA	97.15	385	408.5	144.5	0	49.5
LURUACO	97	384.5	408.83	146	481.5	0

Fuente: Elaboración propia

En el caso de aquellos Departamentos que tienen pocos municipios asignados, fueron agrupados con otro, como es el caso de Atlántico en la Región 1 y Guajira en la Región 2. Para la Región 1, Atlántico se une con Bolívar para dar un total de 24 municipios, y en la Región 2 Guajira se une con Magdalena para dar un total de 18 municipios. Esto se hizo, debido a que el número de municipios que hay en Atlántico y en Guajira es muy pequeño, por lo tanto no es necesario realizar un ruteo para cada uno.

Cada matriz indica los coeficientes de costo que serán utilizados en cada uno de los 6 modelos que serán construidos en GAMS para obtener el VRP, por lo tanto, las matrices que se ingresaron en los modelos están conformadas por el siguiente número de municipios de cada Departamento:

**Tabla 6: Conformación de cada VRP**

VRP	Departamentos	Número de Municipios	Numero de Sedes
VRP 1	Atlántico – Bolívar	24	183
VRP 2	Córdoba	21	180
VRP 3	Sucre	14	95
VRP 4	Cesar	19	150
VRP 5	La Guajira - Magdalena	19	254
VRP 6	Norte de Santander	27	168

*Fuente: Elaboración propia*

Teniendo en cuenta la información obtenida con las matrices, las cuales se pueden ver en los anexos del 2 al 7, se procede a realizar en el Software de optimización GAMS cada uno de los VRP anteriormente descritos.

Los Depósitos seleccionados para cada VRP no son tenidos en cuenta en la asignación ni en el ruteo, debido a que el número de sedes existentes en dicho municipio es lo suficientemente grande, por lo tanto se debe realizar un ruteo interno.

A continuación se muestra el número de sedes que hay en cada Deposito y el tiempo que le tomara en realizar el recorrido, teniendo en cuenta que por cada sede se demorara 24 horas según la formula descrita anteriormente de Tiempo Fijo de Permanencia en cada Sede ( $Tf_i$ ), en la cual debe realizar las tres etapas de Instalación, Legalización y Cierre.

**Tabla 7: Número de Sedes por Depósito**

VRP	DEPOSITO	Numero de Sedes	Duración del Ruteo (Horas)
VRP 1	CARTAGENA	30	720
VRP 2	MONTERÍA	12	288
VRP 3	SINCELEJO	13	312
VRP 4	VALLEDUPAR	37	888
VRP 5	SANTA MARTA	54	1296
VRP 6	CÚCUTA	21	504

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla anterior, se muestra el tiempo que demoraría un delegado en realizar el ruteo en cada Depósito. Teniendo en cuenta el número de sedes que hay en Santa Marta, se recomienda utilizar 2 Delegados para realizar el ruteo en dicho municipio.

## 8. FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO DE RUTEO DE VEHICULOS VRP

### **Función objetivo**

Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar). En este caso la función objetivo muestra la distribución que minimiza el tiempo de recorrido entre los municipios que deben recorrer los Delegados, realizando la suma producto del tiempo de traslado por la variable binaria.

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

### **Índices**

$i$  = nodo de partida  $i$  (1,2,..,n)

$j$  = nodo de llegada  $j$  (1,2,..,n)

### **Variables**

$Z$ : *Tiempo total de desplazamiento*

$X_{ij}$ :  $\begin{cases} 1 & \text{Si recorre el arco del municipio } i \text{ al municipio } j \\ 0 & \text{De lo contrario} \end{cases}$

$U_i$ : *Posición de la sede } i*

## Parámetros

$C_{ij}$ = Tiempo de transporte del nodo  $i$  al nodo  $j$

$m$ = Cantidad de vehículos

$p$  = Número máximo de municipios por delegado

El cálculo de  $C_{ij}$  se realizó teniendo en cuenta la matriz de tiempos explicada en el Capítulo 7 correspondiente al tiempo total de traslado.

## Restricciones

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = m \quad j = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = m \quad i = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \in [1, n] \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall j \in [1, n] \quad (4)$$

$$u_i - u_j + PX_{ij} \leq P - 1 \quad \forall i \forall j \quad (5)$$

$$X_{ij} \in [0, 1] \quad (6)$$

$$u_i > 0 \quad (7)$$

La restricción (1) y (2) indica que del Depósito deben salir exactamente  $m$  vehículos.

Las restricciones (3) y (4) garantizan que uno y solo un vehículo visite y abandone cada Destino. Estas restricciones siempre va a ser igual a 1 con el fin de que se asegure de solo entre y saga un delegado a cada municipio.

La restricción (5) establece la inexistencia de subtours inconexos. Se entiende como subtour a toda ruta reducida que es formada entre nodos intermedios y no se encuentra conectada con el origen.

Finalmente los conjuntos de restricciones (6) y (7) establecen los valores admisibles para las variables de decisión.

## 9. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN GAMS

El programa GAMS (General Algebraic Modeling System) es un software desarrollado por A. Brooke, D. Kendrick y A. Meeraus. A diferencia de otros paquetes de software de implementación de algoritmos matemáticos que permiten resolver los problemas de optimización, el programa GAMS presenta la ventaja de plantear un lenguaje de modelización que permite el poder escribir en un editor la formulación matemática del problema y posteriormente aplicarle una serie de “solvers” o programas de resolución<sup>10</sup>.

Para el desarrollo del modelo se tuvo en cuenta los índices, variables, parámetros, y restricciones descritos en el capítulo 6, los cuales fueron escritos en el lenguaje que maneja GAMS. Ver Anexo 8. De acuerdo a la investigación realizada, el modelo de VRP se encontraba ya formulado en formato de GAMS<sup>11</sup> por Erwin Kalvelagen, el cual se tomó como base para la solución del problema en estudio.

Cabe resaltar que el mTSP puede considerarse como una relajación del VRP, con las restricciones de capacidad removidas. Lo anterior quiere decir que todas las formulaciones y soluciones propuestas para el VRP también son válidas y aplicables al mTSP, asignando suficiente capacidad a los vehículos.<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> Fuente: Página de Internet. [www.gamsworld.org](http://www.gamsworld.org)

<sup>11</sup> KALVELAGEN, Erwin. Yet Another Math Programming Consultant [Blog Internet]. Washington DC. Erwin Kalvelagen. 2009 Marzo – [Citado 10/01/2012]. Disponible en:

<http://yetanothermathprogrammingconsultant.blogspot.com/2009/03/mtspvrp-example.html>

<sup>12</sup> BEKTAS, Tolga. The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. Pag 2. 2005

En el modelo se identificaron los siguientes datos:

- Parámetros del modelo:  $C_{ij}$ = Costo de transporte del nodo  $i$  al nodo  $j$   
 $m$ = Cantidad de Vehículos  
 $p$  = Número máximo de municipios por delegado
  
- Coeficientes tecnológicos: Matriz de tiempos
  
- Número de delegados: se definió como un valor constante, el cual va variando según sea el caso para encontrar aquel que dé mejores resultados.
  
- Número máximo de municipios a visitar: Para su cálculo se tuvo como referencia el número de municipios del departamento y el número de delegados a asignar.

## 9.1 SELECCIÓN DEL SOLVER

Una vez aplicado el modelo en GAMS, y al haber incorporado las condiciones del caso en términos de número de vehículos, se prosiguió a buscar la solución del modelo. Para ello, se recurrió una herramienta llamada Neos Server la cual permite presentar los modelos de GAMS (y otros formatos) a un servicio de optimización en línea, para ejecutar con las máquinas de solucionadores de NEOS locales y obtener un archivo de solución de regreso.

Para la selección del solver a utilizarse en la solución del modelo, se tuvo como referencia:

- 1) Las estadísticas de entrada del mayor número de trabajos cargados en cada solver, la cual se puede observar en el *Anexo 9*.
- 2) Solver que admiten entrada de modelos en formato de GAMS (.gms) y que solucionen problemas del tipo MIP. Estos solver se encuentran en el *Anexo 10*.

Como resultado del análisis anterior se seleccionaron los siguientes solvers: Gurobi, XpressMP, Mosek y Glpk como alternativas para encontrar la solución óptima de cada modelo.

Cabe resaltar que Neos Server presenta limitaciones iniciales para encontrar la solución del modelo:

- El tiempo máximo disponible para encontrar la solución del modelo
- Número máximo de iteraciones para encontrar la solución óptima del modelo.

Una vez seleccionados los solvers en los cuales se puede encontrar la solución del modelo, se procedió a probar uno de los 6 modelos en dichos solvers, para este caso se escogió el modelo VRP de Atlántico - Bolívar, con el fin de determinar con cuál de ellos presentaba un mejor comportamiento.

Para la selección se utilizaron cuatro indicadores:

- Resultado de la función objetivo
- Solver Status (Solución óptima o no)
- Numero de iteraciones (iterationcount)

- Tiempo de computo tomado para resolver el modelo (Resourceusage)

Los dos primeros indicadores hacen referencia a los resultados obtenidos por el solver en el momento de solucionar el modelo. El tercer y cuarto indicador hace referencia a lo eficiente que puede ser el solver para encontrar la solución del modelo, reflejado en los recursos usados para encontrar el resultado obtenido.

Se corrió el modelo con los datos iniciales entregados por CPE, donde  $m$  es igual al número de vehículos y  $P$  es igual al número máximo de municipios a visitar. Tomando como criterio la siguiente información:

- Si la cantidad de vehículos asignados por CPE es mayor a 10, se solucionará el modelo inicial con 10 vehículos,
- Si la cantidad de vehículos asignados por CPE es menor o igual a 10 se tomará la cantidad de vehículos asignados por CPE a asignar en el modelo inicial.

El modelo arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 8: Selección del Solver VRP Atlántico -Bolívar**

<b>m=10 p=3</b>				
<b>Solver</b>	<b>FO</b>	<b>Optimo (si/no)</b>	<b>Iteraciones</b>	<b>Tiempo (seg)</b>
Gurobi	3777.28	Si	537339	48.12
XpressMP	3777.28	Si	365493	43.43
Mosek	Fallo sistema, no retorno solución			
Glpk	Error al componer los resultados			

Con respecto a la tabla anterior se puede apreciar, que la Función Objetivo es la misma para los dos primeros solvers, mientras que Xpress tiene un mejor desempeño en el número de iteraciones y tiempo de ejecución, lo cual le da una

ventaja en términos de eficiencia. Por lo tanto el solver seleccionado para hallar las soluciones de todos los modelos es el ***Solver XpressMP***.

## **9.2 BUSQUEDA DE ALTERNATIVAS DE LA SITUACIÓN INICIAL**

Con el fin de buscar soluciones que permitan mejorar los resultados obtenidos de la solución inicial, se procedió a buscar alternativas en las características de la asignación entregada por CPE. Como referencia se comenzó a variar la cantidad de delegados a utilizar en cada Departamento (VRP) incrementado o disminuyendo su valor inicial, lo cual a su vez implicaba un cambio en el número máximo de municipios por delegado, teniendo en cuenta la relación mencionada al inicio del capítulo.

Se probaron al menos 3 alternativas por cada VRP.

Para determinar cuál es la mejor opción se tuvo como referencia los siguientes KPI's:

- 1) Duración total del ruteo (Valor de la función objetivo)
- 2) Número de delegados asignados
- 3) Número de vehículos asignados

En el siguiente capítulo, se encuentran los resultados de las alternativas que se llevaron a cabo por cada VRP. Basados en los KPI's mencionados anteriormente, y se selecciona la solución que mejor comportamiento presentó.

## 10. SOLUCIÓN DEL MODELO DE RUTEO DE VEHICULOS EN GAMS

Como se mencionó anteriormente, para el desarrollo del presente proyecto se dividió el problema en seis (6) VRP, los cuales están agrupados por Departamentos, tal como se describió en el capítulo 7.

Cada VRP se solucionó en el Solvers seleccionado XPRESS, luego se fue variando el número de Delegados asignados hasta encontrar el mejor, teniendo en cuenta los criterios establecidos en la sección 9.2. Seguidamente se describe de forma detallada la solución de cada uno de los VRP

Para el cronograma se utilizó la duración del ruteo en días dividiendo el total de horas de recorrido entre 24 (horas). Para la planeación se tuvo en cuenta que los delegados trabajan de lunes a viernes y descansan Sábado y Domingo.

### 10.1 VRP1: Atlántico – Bolívar

Tabla 9: Resultados Preliminar del VRP Atlántico - Bolívar

Xpress MP					
# de Vehículo	Máximo de Municipios	Duración total del ruteo (FO)	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)
11	3	3779.75	Si	189253	11.001
10	3	3777.28	Si	365493	43.431
9	3	3775.03	Si	691075	49.409
8	4	3759.03	Si	410765	27.582
7	4	3757.32	Si	1163280	80.764
6	5	3745.1	Si	376836	25.02

En la tabla anterior se muestran los resultados obtenidos en el modelo al variar el número de Delegados asignados y el número de máximo de municipios que

pueden atender. Para cada Delegado se generó una ruta, en la cual teniendo en cuenta los KPI's establecidos se seleccionó la de mejor resultado.

Como se puede observar para el VRP 1 (Atlántico – Bolívar) la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 6 Delegados y 5 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo (FO).

El modelo arroja la asignación de los municipios a los Delegados de la siguiente manera:

**Tabla 10: Ruteo arrojado por el modelo de GAMS**

6 Delegados							
Vehículo	Rutas						
1	i9	i4	i5	i3	i1	i2	i9
2	i9	i6	i10	i9			
3	i9	i18	i13	i12	i15	i11	i9
4	i9	i21	i8	i19	i14	i17	i9
5	i9	i23	i7	i20	i22	i16	i9
6	i9	i24	i9				

A continuación se observan las rutas que deben seguir cada uno de los Delegados al traducir los resultados de la asignación:

**Tabla 11: Traducción de la asignación realizada por el modelo**

6 Delegados							
Vehículo	Rutas						
1	CARTAGENA	SOLEDAD	BARRANQUILLA	BARANOA	POLONUEVO	SABANALARGA	CARTAGENA
2	CARTAGENA	LURUACO	CLEMENCIA	CARTAGENA			
3	CARTAGENA	MARIA LA BAJA	EL GUAMO	EL CARMEN DE BOLIVAR	MAGANGUE	CORDOBA	CARTAGENA
4	CARTAGENA	SAN JUAN DE NEPOMUCENO	BARRANCO DE LOBA	MOMPOS	HATILLO DE LOBA	MARGARITA	CARTAGENA
5	CARTAGENA	TIQUISIO	ACHI	PINILLOS	SAN PABLO	MAHATES	CARTAGENA
6	CARTAGENA	TURBANA	CARTAGENA				

Teniendo en cuenta la Matriz de Tiempo del Anexo 2, se calcula el tiempo en horas que le tomará a cada uno de los Delegados para completar la ruta asignada:

**Tabla 12: Tiempo que demora cada Delegado en completar la ruta**

ATLANTICO - BOLIVAR				
Delegado	Ruteo en Horas	Ruteo en Días	# Municipios	# de Sedes
1	1518	64	5	63
2	98	5	2	4
3	664	28	5	27
4	628	26	5	25
5	810	34	5	33
6	26	2	1	1

Teniendo en cuenta la información anterior, se muestra en la siguiente tabla la distribución de la carga con la asignación realizada teniendo en cuenta la Función Objetivo:

**Tabla 13 Cronograma Preliminar VRP Atlántico y Bolívar**

Delegado	Municipios	Sedes	Días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13
1	5	63	64													
2	2	4	5													
3	5	27	28													
4	5	25	26													
5	5	33	34													
6	1	1	2													

En la anterior tabla se observa como el vehículo 1 se encuentra sobrecargado debido a la cantidad de sedes que se encuentran en los municipios que tiene asignados para atender, lo cual impacta en la duración de las actividades de este proyecto. Lo anterior supone así mismo sobrecostos en el proyecto, debido a que puede llegar a extenderse el proyecto más allá de lo deseado por el programa.

Por lo anterior se tuvo en cuenta un KPI adicional que permitiera así mismo reducir el tiempo del proyecto en este VRP: Duración máxima de ruteo por delegado. Este KPI hace referencia al ruteo de entre todos los delegados que presenta mayor duración en el presente VRP. En la siguiente tabla se muestra los 3 KPI's que se trabajaron anteriormente, junto con este nuevo KPI.

**Tabla 14 Resultados del VRP Atlántico- Bolívar**

<b>Xpress MP</b>						
<b># de Vehículo</b>	<b>Máximo de Municipios</b>	<b>Duración total del ruteo</b>	<b>Optimo (si/no)</b>	<b>Iteraciones</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Duración Máxima de ruteo por delegado</b>
11	3	3779.75	Si	189253	11.001	1038
10	3	3777.28	Si	365493	43.431	1038
9	3	3775.03	Si	691075	49.409	1038
8	4	3759.03	Si	410765	27.582	1134
7	4	3757.32	Si	1163280	80.764	1134
6	5	3745.1	Si	376836	25.02	1517

Como se observa en la anterior tabla, teniendo en cuenta la función objetivo y la duración máxima de ruteo por delegado, la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 7 Delegados y 4 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo y una menor duración máxima del ruteo por delegado.

Basándose en la nueva selección, se realizó el mismo procedimiento anterior, se tradujeron los resultados de la asignación por Delegado, quedando de la siguiente manera:

**Tabla 15: Traducción de la asignación realizada por el modelo**

7 VEHICULOS						
Vehiculo	Rutas					
1	CARTAGENA	SOLEDAD	BARRANQUILLA	BARANOA	POLONUEVO	CARTAGENA
2	CARTAGENA	BARRANCO DE LOBA	MOMPOS	HATILLO DE LOBA	MARGARITA	CARTAGENA
3	CARTAGENA	CLEMENCIA	LURUACO	SABANALARGA	CARTAGENA	
4	CARTAGENA	EL GUAMO	MAHATES	MARIA LA BAJA	CARTAGENA	
5	CARTAGENA	SAN JUAN DE NEPOMUCENO	EL CARMEN DE BOLIVAR	MAGANGUE	CORDOBA	CARTAGENA
6	CARTAGENA	SAN PABLO	PINILLOS	ACHI	TIQUISIO	CARTAGENA
7	CARTAGENA	TURBANA	CARTAGENA			

El tiempo que les tomará a los Delegados completar la ruta asignada según la matriz de tiempos es el siguiente:

**Tabla 16: Tiempo que demora cada Delegado en completar la ruta**

ATLANTICO - BOLIVAR				
Delegado	Ruteo en Horas	Ruteo en Dias	# Municipios	# de Sedes
1	1134.38	48	4	47
2	514.2	22	4	20
3	483.12	21	3	20
4	297.25	13	3	12
5	539.5	23	4	22
6	762.47	32	4	31
7	26.4	2	1	1

A continuación se muestra el cronograma de cada vehículo con la solución anteriormente seleccionada:

**Tabla 17 Cronograma VRP Atlántico y Bolívar**

Delegado	Municipios	Sedes	Días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
1	4	47	48	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
2	4	20	22	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
3	3	20	21	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
4	3	12	13	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
5	4	22	23	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
6	4	31	32	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
7	1	1	2	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Para cada uno de los VRP se realiza el mismo procedimiento.

## 10.2 VRP 2: Córdoba

**Tabla 18: Resultados Preliminares del VRP Córdoba**

Xpress MP					
# de vehículo	Máximo de Municipios	Duración total del ruteo (FO)	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)
11	3	4133.51	Si	16126	1.026
10	3	4131.53	Si	30591	1.589
9	3	4129.56	Si	34777	2.412
8	3	4128.21	Si	94614	5.443
7	4	4123.84	Si	29181	1.841
6	4	4122.49	Si	57537	4.603

En la tabla anterior se muestran los resultados obtenidos en el modelo al variar el número de Delegados asignados y el número de máximo de municipios que pueden atender. Para cada uno se generó una ruta, en la cual teniendo en cuenta los KPI's establecidos se seleccionó la de mejor resultado.

Como se puede observar para el VRP 2 (Córdoba) la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 6 Delegados y 4 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo (FO).

En la siguiente tabla se muestra la distribución de la carga con la asignación la realizada teniendo en cuenta la Función Objetivo:

**Tabla 19: Cronograma Preliminar del VRP Córdoba**

Delegado	Municipios	Sedes	Días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9
1	3	22	23	█	█	█	█	█	█	█	█	█
2	4	27	28	█	█	█	█	█	█	█	█	█
3	4	40	41	█	█	█	█	█	█	█	█	█
4	4	35	36	█	█	█	█	█	█	█	█	█
5	4	38	39	█	█	█	█	█	█	█	█	█
6	1	6	7	█	█	█	█	█	█	█	█	█

En la anterior tabla se observa como el vehículo 3, 4 y 5 se encuentra sobrecargado de debido a la cantidad de sedes que se encuentran en los municipios que tiene asignados para atender, lo cual impacta en la duración de las actividades de este proyecto. Lo anterior supone así mismo sobrecostos en el proyecto, debido a que puede llegar a extender el proyecto más allá de los deseados por el programa.

Por lo anterior se utilizó el KPI llamado Duración máxima de ruteo por delegado para obtener una mejor duración del proyecto, y beneficie la planificación del proyecto. En la siguiente tabla se muestra los 3 KPI's que se trabajaron anteriormente, junto con este nuevo KPI.

**Tabla 20: Resultados del VRP Córdoba**

Xpress MP						
# de vehículo	Máximo de Municipios	FO	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)	Duración Máxima de ruteo
11	3	4133.51	Si	16126	1.026	851
10	3	4131.53	Si	30591	1.589	851
9	3	4129.56	Si	34777	2.412	851
8	3	4128.21	Si	94614	5.443	851
7	4	4123.84	Si	29181	1.841	979

6	4	4122.49	Si	57537	4.603	979
---	---	---------	----	-------	-------	-----

Como se observa en la anterior tabla, teniendo en cuenta la función objetivo y la duración máxima de ruteo por delegado, la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 8 Delegados y 3 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo y una menor duración máxima del ruteo por delegado.

A continuación se muestra el cronograma de cada vehículo con la solución anteriormente seleccionada:

**Tabla 21: Cronograma VRP Córdoba**

Delegado	Municipios	Sedes	Días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
1	3	34	35								
2	3	22	23								
3	2	11	12								
4	3	26	29								
5	2	9	10								
6	3	25	26								
7	3	35	36								
8	1	6	7								

### 10.3 VRP 3: Sucre

**Tabla 22: Resultados Preliminar del VRP Sucre**

Xpress MP					
# de vehículo	Máximo de Municipios	Duración total del ruteo (FO)	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)
7	3	1988.35	Si	1323	0.128
6	3	1987.3	Si	3017	0.902
5	4	1983.35	Si	238	0.035
4	5	1982.05	Si	1261	0.115

3	6	1981.25	Si	2588	0.246
---	---	---------	----	------	-------

En la tabla anterior se muestran los resultados obtenidos en el modelo al variar el número de Delegados asignados y el número de máximo de municipios que pueden atender. Para cada uno se generó una ruta, en la cual teniendo en cuenta los KPI's establecidos se seleccionó la de mejor resultado.

Como se puede observar para el VRP 3 (Sucre) la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 3 de Delegados y 6 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo (FO).

En la siguiente tabla se muestra la distribución de la carga con la asignación la realizada teniendo en cuenta la Función Objetivo:

**Tabla 23: Cronograma Preliminar del VRP Sucre**

Delegado	Municipios	Delegados	Dias	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
1	5	26	27						
2	4	28	29						
3	4	28	29						

Como se observa en la anterior tabla, la cantidad de sedes que se encuentran asignadas a cada delegado, se encuentra balanceado. Al incorporar el KPI adicional, se observa que se selecciona la misma solución, como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 24: Resultados VRP Sucre

Xpress MP						
# de vehículo	Máximo de Municipios	FO	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)	Duración Máxima de ruteo
7	3	1988.35	Si	1323	0.128	555
6	3	1987.3	Si	3017	0.902	555
5	4	1983.35	Si	238	0.035	700
4	5	1982.05	Si	1261	0.115	700
3	6	1981.25	Si	2588	0.246	680

Al incorporar el nuevo KPI, se puede apreciar que el de mejores resultados sigue siendo el de la solución inicial en la cual se trabaja con 3 delegados y 6 municipios como máximo por delegado.

#### 10.4 VRP 4: Cesar

Tabla 25: Resultados Preliminar del VRP Cesar

Xpress					
# de vehículo	Máximo de Municipios	Duración total del ruteo (FO)	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)
7	4	2124.7	Si	2340549	102.46
6	4	2123.45	Si	22427567	1010.86
5	5	2119.45	Si	9075103	396.26
4	6	2116.45	Si	4546603	216.91
3	8	2112.1	Si	349932	22.25

En la tabla anterior se muestran los resultados obtenidos en el modelo al variar el número de Delegados asignados y el número de máximo de municipios que

pueden atender. Para cada uno se generó una ruta, en la cual teniendo en cuenta los KPI's establecidos se seleccionó la de mejor resultado.

Como se puede observar para el VRP 4 (Cesar) la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 3 de Delegados y 8 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo (FO).

En la siguiente tabla se muestra la distribución de la carga con la asignación la realizada teniendo en cuenta la Función Objetivo:

**Tabla 26: Cronograma Preliminar del VRP Cesar**

Delegado	Municipios	Sedes	Días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9
1	7	20	21									
2	4	25	26									
3	7	42	43									

En la anterior tabla se observa como el vehículo 3 se encuentra sobrecargado debido a la cantidad de sedes que se encuentran en los municipios que tiene asignados para atender, lo cual impacta en la duración de las actividades de este proyecto. Lo anterior supone así mismo sobrecostos en el proyecto, debido a que puede llegar a extender el proyecto más allá de los deseados por el programa.

Por lo anterior se utilizó el KPI llamado Duración máxima de ruteo por delegado para obtener una mejor duración del proyecto, y beneficie la planificación del proyecto. En la siguiente tabla se muestra los 3 KPI's que se trabajaron anteriormente, junto con este nuevo KPI.

**Tabla 27: Resultados VRP Cesar**

Xpress						
# de vehículo	Máximo de Municipios	FO	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)	Duración Máxima de ruteo
7	4	2124.7	Si	2340549	102.46	558.7
6	4	2123.45	Si	22427567	1010.86	558.7
5	5	2119.45	Si	9075103	396.26	702.5
4	6	2116.45	Si	4546603	216.91	779.3
3	8	2112.1	Si	349932	22.25	1022.35

Como se observa en la anterior tabla, teniendo en cuenta la función objetivo y la duración máxima de ruteo por delegado, la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 6 Delegados y 4 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo y una menor duración máxima del ruteo por delegado.

A continuación se muestra el cronograma de cada vehículo con la solución anteriormente seleccionada:

**Tabla 28: Cronograma del VRP Cesar**

Delegado	Municipios	Sedes	Dias	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
1	4	15	17	█	█	█	█	█
2	4	23	25	█	█	█	█	█
3	4	20	22	█	█	█	█	█
4	1	6	7	█	█	█	█	█
5	1	2	3	█	█	█	█	█
6	4	21	23	█	█	█	█	█

## 10.5 VRP 5: Magdalena – Guajira

Tabla 29: Resultados Preliminares del VRP Magdalena - Guajira

Xpress MP					
# de Vehículo	Máximo de Municipios	Duración total del ruteo (FO)	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)
9	3	3822.4	Si	8334	0.386
8	3	3817.4	Si	10380	0.92
7	3	3812.95	Si	23160	0.974
6	4	3804.3	Si	10020	0.516
5	4	3800.8	Si	19374	1.04

En la tabla anterior se muestran los resultados obtenidos en el modelo al variar el número de Delegados asignados y el número de máximo de municipios que pueden atender. Para cada uno se generó una ruta, en la cual teniendo en cuenta los KPI's establecidos se seleccionó la de mejor resultado.

Como se puede observar para el VRP 5 (Magdalena - Guajira) la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 5 de Delegados y 4 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo (FO).

En la siguiente tabla se muestra la distribución de la carga con la asignación la realizada teniendo en cuenta la Función Objetivo:

Tabla 30: Cronograma Preliminar del VRP Magdalena - Guajira

Delegado	Municipios	Sedes	Dias	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
1	3	28	29										
2	3	24	25										
3	4	47	48										
4	3	30	31										
5	4	43	44										

En la anterior tabla se observa como los vehículos 3 y 5 se encuentra sobrecargado debido a la cantidad de sedes que se encuentran en los municipios que tiene asignados para atender, lo cual impacta en la duración de las actividades de este proyecto. Lo anterior supone así mismo sobrecostos en el proyecto, debido a que puede llegar a extender el proyecto más allá de los deseados por el programa.

Por lo anterior se utilizó el KPI llamado Duración máxima de ruteo por delegado para obtener una mejor duración del proyecto, y beneficie la planificación del proyecto. En la siguiente tabla se muestra los 3 KPI's que se trabajaron anteriormente, junto con este nuevo KPI.

**Tabla 31: Resultados VRP Magdalena - Guajira**

Xpress MP						
# de Vehículo	Máximo de Municipios	FO	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)	Duración Máxima de ruteo
9	3	3822.4	Si	8334	0.386	850.8
8	3	3817.4	Si	10380	0.92	850.8
7	3	3812.95	Si	23160	0.974	876.8
6	4	3804.3	Si	10020	0.516	902.0
5	4	3800.8	Si	19374	1.04	903.0

Como se observa en la anterior tabla, teniendo en cuenta la función objetivo y la duración máxima de ruteo por delegado, la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 6 Delegados y 4 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo y una menor duración máxima del ruteo por delegado.

A continuación se muestra el cronograma de cada vehículo con la solución anteriormente seleccionada:

**Tabla 32: Cronograma del VRP Cesar**

Delegado	Municipios	Sedes	Días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
1	1	7	8	█	█	█	█	█	█	█	█
2	3	25	27	█	█	█	█	█	█	█	█
3	3	36	39	█	█	█	█	█	█	█	█
4	3	19	21	█	█	█	█	█	█	█	█
5	1	8	9	█	█	█	█	█	█	█	█
6	3	35	38	█	█	█	█	█	█	█	█
7	3	26	28	█	█	█	█	█	█	█	█

## 10.6 VRP 6: Norte de Santander

**Tabla 33: Resultados Preliminares del VRP Norte de Santander**

Xpress MP					
# de vehículo	Máximo de Municipios	Duración total del ruteo (FO)	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)
8	5	2970.7	Si	8104649	606.562
7	5	2958.4	Si	5424319	909.42
6	5	2955.1	Si	10723200	648.97

En la tabla anterior se muestran los resultados obtenidos en el modelo al variar el número de Delegados asignados y el número de máximo de municipios que pueden atender. Para cada uno se generó una ruta, en la cual teniendo en cuenta los KPI's establecidos se seleccionó la de mejor resultado.

Como se puede observar para el VRP 6 (Norte de Santander) la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 6 de Delegados y 5 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo (FO).

En la siguiente tabla se muestra la distribución de la carga con la asignación la realizada teniendo en cuenta la Función Objetivo:

**Tabla 34: Cronograma Preliminar del VRP Norte de Santander**

Delegado	Municipios	Sedes	Días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9
1	5	13	14									
2	5	21	22									
3	5	42	43									
4	5	31	32									
5	1	1	2									
6	5	13	14									

En la anterior tabla se observa como los vehículos 3 y 4 se encuentra sobrecargado debido a la cantidad de sedes que se encuentran en los municipios que tiene asignados para atender, lo cual impacta en la duración de las actividades de este proyecto. Lo anterior supone así mismo sobrecostos en el proyecto, debido a que puede llegar a extender el proyecto más allá de los deseados por el programa.

Por lo anterior se utilizó el KPI llamado Duración máxima de ruteo por delegado para obtener una mejor duración del proyecto, y beneficie la planificación del proyecto. En la siguiente tabla se muestra los 3 KPI's que se trabajaron anteriormente, junto con este nuevo KPI.

**Tabla 35: Resultados del VRP Norte de Santander**

Xpress MP						
# de vehículo	Máximo de Municipios	FO	Optimo (si/no)	Iteraciones	Tiempo (seg)	Duración Máxima de ruteo
8	5	2970.7	Si	8104649	606.562	973.4
7	5	2958.4	Si	5424319	909.42	1019.7
6	5	2955.1	Si	10723200	648.97	1019.7
5	5	2964.7329	no solution	0	1000.02	0

Como se observa en la anterior tabla, teniendo en cuenta la función objetivo y la duración máxima de ruteo por delegado, la cantidad de vehículos que presenta un mejor desempeño es el de 6 Delegados y 4 municipios, siendo el que presenta una menor duración total del ruteo y una menor duración máxima del ruteo por delegado.

A continuación se muestra el cronograma de cada vehículo con la solución anteriormente seleccionada:

**Tabla 36: Cronograma del VRP Norte de Santander**

Delegado	Municipios	Sedes	Días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9
1	5	19	20									
2	1	4	5									
3	5	28	29									
4	1	1	2									
5	5	40	41									
6	5	15	16									
7	1	1	2									
8	3	13	16									

## 11. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MODELO VS LA ASIGNACIÓN REALIZADA POR CPE

Luego de haber revisado y analizado los datos del año 2011, procedemos a realizar el cálculo de indicadores, con los cuales se puede comparar entre los resultados obtenidos en la asignación realizada por CPE y la obtenida en el modelo.

En la siguiente tabla se puede apreciar los indicadores claves del año 2011 de la asignación realizada por CPE.

**Tabla 37: Indicadores año 2011 asignación CPE por departamento**

VRP	Asignación CPE			
	# de delegados	Duración total del ruteo (FO)	Duración Máxima de Ruteo	Duración Mínima de ruteo
Atlántico y bolívar	13	4364.9	666.65	26
Córdoba	13	4854.97	1210.28	56
Sucre	6	7783.74	628	170
Cesar	4	2129.4	708.1	4365
Guajira - Magdalena	9	3844.45	869.45	132
Norte de Santander	8	3028.6	607.9	84

*Fuente: Elaboración propia. Datos suministrados por la oficina de Computadores para Educar*

En la tabla anterior se pueden apreciar de forma resumida el número de delegados, la duración total del ruteo, duración Máxima del ruteo por delegado, De acuerdo a la asignación realizada por CPE para cada departamento. En los Anexo del 11 al 22, se observan los datos de la asignación de los municipios a cada delegado y el tiempo que demora en realizar el recorrido basándonos en las matrices de tiempo de los Anexos del 2 al 7.

Teniendo en cuenta la asignación realizada por CPE, al Delegado que másle toma completar el recorrido, demora 1210.28 horas, lo que significa que demora 51 días que equivalen a 11 semanas en realizar el proceso de Instalación, Legalización y Cierre.

En la siguiente tabla se aprecian los resultados de la asignación propuesta, la cual es la de mejor desempeño, basándonos en los resultados obtenidos en cada uno de los modelos descritos en el capítulo anterior.

**Tabla 38: Indicadores de la mejor solución encontrada por Departamento**

VRP	Mejor solución encontrada			
	# de delegados	Duración total del ruteo (FO)	Duración Máxima de ruteo	Duración Mínima de ruteo
Atlántico y Bolívar	7	3757.32	1134	26.4
Córdoba	8	4128.21	851	147
Sucre	3	1981.25	680	627
Cesar	6	2123.45	558.7	50
Guajira - Magdalena	7	3812.9	876.8	172
Norte de Santander	8	2970.7	973.4	25

*Fuente: Elaboración propia.*

Teniendo en cuenta la asignación realizada por CPE y la obtenida en GAMS, se realizó la comparación de los KPI's y se obtuvieron los siguientes resultados:

- En la solución propuesta se utilizaron un total de 39 Delegados, mientras que en la asignación realizada por CPE se utilizaron un total de 53 Delegados, reduciendo en un 26% el número de Delegados utilizados.
- En la solución propuesta se obtuvo una duración total promedio de 3128.97 horas, mientras que en la asignación de CPE se obtuvo una duración total

promedio de 4334.34 horas. Por lo tanto la duración total de recorrido disminuye en un 28% al utilizar el modelo propuesto.

- La utilización del modelo propuesto permite realizar una asignación más eficiente de los municipios con sedes Tipo B que deben ser distribuidas entre el total de Delegados seleccionados.

## 12. PLANEACIÓN DE ACTIVIDADES

Teniendo en cuenta la solución encontrada de cada VRP, se procedió a construir la planeación de actividades del programa CPE para atender los municipios con sedes tipo B. Cabe resaltar que el modelo está establecido para las etapas de Instalación, Legalización y Cierre; mientras que las etapas previas como son Selección, Alistamiento de Aulas, Despacho y Alistamiento de retoma, ya tienen un tiempo estipulado por CPE para la realización de las mismas.

Para el cronograma se utilizó la duración del ruteo en días dividiendo el total de horas de recorrido entre 24 (horas). Para la planeación se tuvo en cuenta que los delegados trabajan de lunes a viernes y descansan Sábado y Domingo.

El tiempo de Duración Total del Ruteo para las etapas de Instalación, Legalización y Cierre, está dado por el Delegado que tiene mayor duración de recorrido, ya que todos los Delegados trabajan en paralelo.

El Delegado que más demora en realizar el recorrido es uno de Atlántico – Bolívar, al cual le toma 48 días hábiles (9 Semanas y 3 días) en completar el ruteo hacia los municipios con sedes tipo B asignadas.

En la siguiente tabla, se puede observar la planeación de actividades teniendo en cuenta la solución propuesta, la cual contiene el número de Delegados necesarios para atender las sedes tipo B beneficiarias, el tiempo que demora cada etapa en el proceso y el tiempo total que demora el proyecto, el cual utilizando la asignación y el ruteo propuesto sería de 32 semanas necesarias para desarrollar el proyecto.

Tabla 39: Planeación de Actividades Propuesta

PLANEACIÓN DE ACTIVIDADES			DURACIÓN TOTAL DEL PROYECTO EN SEMANAS																																
NUMERO DELEGADOS	ETAPAS	DURACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Se requieren 39 Delegados para realizar el proceso de Instalación, Legalización y Cierre en los 124 municipios beneficiarios del Programa de CPE	Selección	13 Semanas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
	Alistamiento de aulas	7 Semanas														■	■	■	■	■	■	■													
	Despacho y Alistamiento de retoma	2 Semanas (13 días)																					■	■											
	Instalación, Legalización y Cierre	10 Semanas (48 días hábiles)																								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las diferentes etapas que componen todo el proceso llevado a cabo por CPE, se tiene una duración total de 32 semanas desde la selección de las sedes, hasta la instalación legalización y cierre.

## **13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **13.1 CONCLUSIONES**

Con el objetivo de encontrar una solución óptima para la asignación de los municipios con sedes tipo B a los Delegados de CPE, se planteó la posibilidad de generar dicha asignación utilizando un modelo de programación Lineal Entera Mixta, debido a que en la actualidad esta es realizada basándose en la experiencia, no es posible para CPE determinar si dicha asignación es la más adecuada.

Al realizar la comparación de los diferentes modelos de Ruteo de Vehículos con las características del caso en estudio, se encontró que el modelo que más se ajusta es el VRP (Vehicle Routing Problem), siendo que tiene una similitud en 8 de las 11 características en comparación, lo cual representa el 73%, seguido por el CVRP (Capacited Vehicle Routing Problem) y el PVRP (Periodic Vehicle Routing Problem) con un 63% cada una.

Para el desarrollo del caso en estudio, se dividió el problema en 6 VRP, quedando agrupados de la siguiente manera: Atlántico – Bolívar, Córdoba, Sucre, Cesar, Magdalena – Guajira y Norte de Santander. Para obtener la solución de cada VRP se utilizó el Software de Optimización GAMS, obteniendo los resultados a través de los diferentes solvers que nos brinda la herramienta Neos Server.

Luego de obtener la solución óptima del modelo se determinaron diferentes KPI's que sirvieron para realizar la comparación de los resultados con la asignación realizada por CPE. De la comparación realizada, se evidenció la mejora del

desempeño de la asignación en cada uno de los indicadores, utilizando el modelo matemático; como resultado se observa que al utilizar el modelo se obtiene una reducción de 26% del número de delegados, una mejora del 28 % en la duración total de ruteo y una reducción en la duración máxima de ruteo general por delegado del 6%.

Del presente proyecto se concluye que para CPE contar con una herramienta como la programación lineal entera Mixta, para llevar a cabo la asignación de los municipios con sedes tipo B y el ruteo de cada uno de los delegados, es de gran utilidad, debido a que se basa en fundamentos matemáticos que tiene en cuenta las diferentes restricciones que se pueden presentar durante la atención de las sedes beneficiadas, permitiendo optimizar sus recursos en términos de tiempo, e incluso poder tener la capacidad de atender mayor cantidad de sedes en menor tiempo, mejorando de forma significativa el impacto que se viene presentando en las comunidades educativas públicas del país y ampliando la cobertura de las TIC.

### **13.2 RECOMENDACIONES**

Para el desarrollo de futuros proyectos sobre el tema, teniendo en cuenta que CPE diferencia los tipos de sedes según las estrategias que se aplican en cada una, siendo que además de las tipo B desarrolladas en el presente proyecto, existen sedes Tipo A, C y D, las cuales están tendiendo a disminuir, pero CPE debería contar una herramienta que le permita hacer la asignación de estas sedes en conjunto con las sedes tipo B.

Por lo tanto, se recomienda contar con una herramienta más robusta que permita realizar mayor cantidad de iteraciones con mayor cantidad de variable, con el fin de poder modelar los otros escenarios con los que actualmente cuenta CPE.

## BIBLIOGRAFIA

- BALLOU, Ronald H. Logística: Administración de la Cadena de Suministros. 5 Edición. Editorial Prentice Hall.
- SANDOYA, Fernando. Métodos Exactos y Heurísticos para resolver el Problema del Agente Viajero (TSP) y el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP). Año 2007. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- CHASE, Richard; AQUIANO, Nicolás; y JACOBS, Robert. Administración de Producción y Operaciones, ED. McGraw – Hill, 8 edición. P. 291
- LOOMBA, N.P. Linear Programming: An introductory Analysis. McGraw – Hill, New York, 1964
- BROWN, Evelyn y RAGSDALE, Cliff. Formulation the Multiple Traveling Salesperson Problem for a Grouping Genetic Algorithm.
- DIAZ, Ocotlán y CRUZ, Antonio. El Problema del Transporte. Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Pág. 3
- ZABALA, Paula. Problema de Ruteo de Vehículos. Agosto de 2006
- Computadores para Educar. 2011. Acerca del programa Computadores para Educar. <http://www.computadoresparaeducar.gov.co/website/es>
- NEOS Server For Optimization. <http://www.neos-server.org/neos/>

- ALVAREZ, Tatiana y HERNANDEZ, Luis Fernando. Caracterización de la actividad de Entrega y Recolección de equipos audiovisuales, como un Problema de Ruteo de Vehículos, y la identificación de las Variables y Parámetros existentes en el mismo, para realizar una aproximación de un modelo de Programación Lineal que permita su solución. Año 2008
  
- KALVELAGEN, Erwin. Yet Another Math Programming Consultant [Blog Internet]. Washington DC. Erwin Kalvelagen. 2009 Marzo – [Citado 10/01/2012]. Disponible en:  
<http://yetanothermathprogrammingconsultant.blogspot.com/2009/03/mtspvprp-example.html>
  
- [www.gamsworld.org](http://www.gamsworld.org)

## ANEXOS

**Anexo 1: Distribución de las Sedes a beneficiar por región, departamento y tipo de sede**

Región	Departamentos	Sedes Penetración (A)	Sedes Reposición (B)	Sedes Densificación (B)	Sedes Formación (C)	Bibliotecas y C. Cultura (D)	Cantidad mínima de Municipios	Cantidad delegados formadores	Total
1	ATLANTICO	6	62	31	17	5	120	85	121
	BOLIVAR	118	124	53	205	9			509
	CHOCO	162	56	19	80	6			323
	CORDOBA	172	129	53	304	6			664
	SAN ANDRES	0	4	1	7	0			12
	SUCRE	42	90	31	135	5			303
<b>Total Región 1</b>		<b>500</b>	<b>465</b>	<b>188</b>	<b>748</b>	<b>31</b>			<b>1.932</b>
2	CESAR	138	99	32	85	5	86	73	359
	LA GUAJIRA	14	41	18	37	3			113
	MAGDALENA	89	95	44	155	6			389
	NORTE DE SANTANDER	227	123	39	330	8			727
<b>Total Región 2</b>		<b>468</b>	<b>358</b>	<b>133</b>	<b>607</b>	<b>22</b>			<b>1.588</b>

Región	Departamentos	Sedes Penetración (A)	Sedes Reposición (B)	Sedes Densificación (B)	Sedes Formación (C)	Bibliotecas y C. Cultura (D)	Cantidad mínima de Municipios	Cantidad delegados formadores	Total
3	ANTIOQUIA	209	445	150	428	25	141	78	1.257
	CALDAS	116	78	32	84	5			315
	QUINDIO	7	30	10	90	2			139
	RISARALDA	47	69	18	120	3			257
<b>Total Región 3</b>		<b>379</b>	<b>622</b>	<b>210</b>	<b>722</b>	<b>35</b>			<b>1.968</b>
4	ARAUCA	36	41	11	20	1	177	83	109
	BOYACA	41	234	62	363	25			725
	CASANARE	68	44	12	60	4			188
	SANTANDER	191	219	57	390	18			875
	VICHADA	37	10	3	2	1			53
<b>Total Región 4</b>		<b>373</b>	<b>548</b>	<b>145</b>	<b>835</b>	<b>49</b>			<b>1.950</b>
5	CAQUETA	232	48	14	200	3	111	86	497
	GUAVIARE	23	17	3	43	1			87
	HUILA	6	215	51	170	8			450
	META	67	87	26	200	6			386
	TOLIMA	165	183	54	195	10			607

Región	Departamentos	Sedes Penetración (A)	Sedes Reposición (B)	Sedes Densificación (B)	Sedes Formación (C)	Bibliotecas y C. Cultura (D)	Cantidad mínima de Municipios	Cantidad delegados formadores	Total
<b>Total Región 5</b>		<b>493</b>	<b>550</b>	<b>148</b>	<b>808</b>	<b>28</b>			<b>2.027</b>
6	CAUCA	124	249	91	144	9	96	80	617
	NARIÑO	224	193	48	500	13			978
	PUTUMAYO	125	53	17	80	3			278
<b>Total Región 6</b>		<b>473</b>	<b>495</b>	<b>156</b>	<b>724</b>	<b>25</b>			<b>1.873</b>
7	AMAZONAS	8	9	4	15	2	169	85	38
	BOGOTA	14	0	0	55	0			69
	CUNDINAMARCA	123	231	73	694	24			1.145
	GUAINIA	9	4	1	25	2			41
	VALLE DEL CAUCA	182	179	73	240	9			683
	VAUPES	13	5	2	27	1			48
<b>Total Región 7</b>		<b>349</b>	<b>428</b>	<b>153</b>	<b>1.056</b>	<b>38</b>			<b>2.024</b>
<b>TOTAL NACIONAL</b>		<b>3.035</b>	<b>3.466</b>	<b>1.133</b>	<b>5.500</b>	<b>228</b>	<b>900</b>	<b>570</b>	<b>13.362</b>

Fuente: Oficina de Computadores para Educar. Archivo Licitación.

**Anexo 2: Matriz de Tiempos Atlántico – Bolívar**

Ver archivo de Excel “Matriz de Tiempos Atlántico – Bolívar” versión digital

**Anexo 3: Matriz de Tiempos Córdoba**

Ver archivo de Excel “Matriz de Tiempos Córdoba” versión digital

**Anexo 4: Matriz de Tiempos Sucre**

Ver archivo de Excel “Matriz de Tiempos Sucre” versión digital

**Anexo 5: Matriz de Tiempos Cesar**

Ver archivo de Excel “Matriz de Tiempos Cesar” versión digital

**Anexo 6: Matriz de Tiempos Magdalena – Guajira**

Ver archivo de Excel “Matriz de Tiempos Magdalena - Guajira” versión digital

**Anexo 7: Matriz de Tiempos Norte de Santander**

Ver archivo de Excel “Matriz de Tiempos Norte de Santander” versión digital

**Anexo 8: Modelo VRP en lenguaje de GAMS**

Ver archivo de Excel “Modelo VRP en GAMS” versión digital

Anexo 9: Lista de Solvers, Estadística de NeosServer

Estadística de neos Solver 01/01/2011 al 06/30/2012	
Lista de Solvers	
Nombre de Los Solvers	# of Entradas
SBB	56130
Gurobi	35148
MINTO	11014
KNITRO	10508
XpressMP	9928
SNOPT	9801
Bonmin	9289
MINOS	8652
filter	6972
Ipopt	5516
BARON	5439
CONOPT	5374
MOSEK	5109
MINLP	5017
LOQO	4940
TRON	673
FilMINT	638
feaspump	633
MUSCOD-II	510
qsopt_ex	486
xpress	402
csdp	326
SDPA	306
Glpk	303
condor	301
ASA	227

**Anexo 10: Solvers de Programación Lineal Entera Mixta**

Solvers de Programación lineal entera Mixta	
Nombre de los Solver	INPUT
Cbc	AMPL-GAMS- MPS
Feaspump	AMPL-CPLEX- MPS
Glpk	GAMS
GUROBI	AMPL-GAMS-MPS
MINTO	AMPL
MOSEK	GAMS
qsopt_ex	AMPL-LP-MPS
Scip	AMPL- CPLEX-GAMS-MPS-ZIMPL
SYMPHONY	MPS
XpressMP	AMPL-GAMS

**Anexo 11: Asignación de las Rutas Atlántico - Bolívar**

RUTEO ATLANTICO Y BOLIVAR				
PROPUESTO	Delegados	# de Municipios visitados	Duración de ruteo (hr)	Duración de ruteo (Días)
<b>7 DELEGADOS</b>	1	6	1134	47
	2	6	514	21
	3	5	483	20
	4	5	297	12
	5	6	540	22
	6	6	762	32
	7	3	26	1
ACTUAL CPE	Delegados	# de Municipios visitados	Duración de ruteo (hr)	Duración de ruteo (Días)
<b>13 DELEGADOS</b>	1	4	630	26
	2	4	610	25
	3	5	557	23
	4	4	435	18
	5	6	667	28
	6	6	514	21
	7	5	298	12
	8	4	294	12
	9	3	154	6
	10	3	101	4
	11	3	50	2
	12	3	26	1
	13	3	30	1

**Anexo 12: Ruteo Atlántico – Bolívar por Delegado**

<b>VEHÍCULOS</b>	<b>RUTEO CPE</b>	<b>RUTEO PROPUESTO</b>
<b>1</b>	Cartagena, Barranquilla, Soledad, Cartagena	Cartagena, Soledad, Barranquilla, Baranoa, Polo Nuevo, Cartagena
<b>2</b>	Cartagena, Achí, Pinillos, Cartagena	Cartagena, Barranco de Loba, Mompos, Hatillo de Loba, Margarita, Cartagena
<b>3</b>	Cartagena, Luruaco, Baranoa, Polo Nuevo, Cartagena	Cartagena, Clemencia, Luruaco, Sabanalarga, Cartagena
<b>4</b>	Cartagena, Luruaco, Sabanalarga, Cartagena	Cartagena, El Guamo, Mahates, María la Baja, Cartagena
<b>5</b>	Cartagena, Magangué, Mompos, Hatillo de Loba, Barranco de Loba, Cartagena	Cartagena, San Juan de Nepomuceno, El Carmen de Bolívar, Magangué, Córdoba, Cartagena
<b>6</b>	Cartagena, María la Baja, El Guamo, San Juan de Nepomuceno, El Carmen de Bolívar, Cartagena	Cartagena, San Pablo, Pinillos, Achí, Tiquisio, Cartagena
<b>7</b>	Cartagena, Mahates, El Carmen de Bolívar, Córdoba, Cartagena	Cartagena, Turbana, Cartagena
<b>8</b>	Cartagena, Margarita, Mompos, Cartagena	
<b>9</b>	Cartagena, San Pablo, Cartagena	
<b>10</b>	Cartagena, Polo Nuevo, Cartagena	
<b>11</b>	Cartagena, Clemencia, Cartagena	
<b>12</b>	Cartagena, Turbana, Cartagena	
<b>13</b>	Cartagena, Tiquisio, Cartagena	



Anexo 14: Asignación Rutas Córdoba

<b>RUTEO CORDOBA</b>				
<b>PROPUESTO 8 DELEGADOS</b>	<b>Delegados</b>	<b># de Municipios visitados</b>	<b>Duración de ruteo (hr)</b>	<b>Duración de ruteo (Días)</b>
	1	5	835	35
	2	5	534	22
	3	4	267	11
	4	5	669	28
	5	4	219	9
	6	5	606	25
	7	5	851	35
	8	3	147	6
<b>ACTUAL CPE 13 DELEGADOS</b>	<b>Delegados</b>	<b># de Municipios visitados</b>	<b>Duración de ruteo (hr)</b>	<b>Duración de ruteo (Días)</b>
	1	1	1210	50
	2	6	605	25
	3	4	582	24
	4	5	414	17
	5	3	299	12
	6	3	343	14
	7	4	247	10
	8	4	225	9
	9	3	217	9
	10	3	365	15
	11	5	146	6
	12	3	147	6
13	3	56	2	

**Anexo 15: Ruteo Córdoba por Delegado**

<b>VEHÍCULOS</b>	<b>RUTEO CPE</b>	<b>RUTEO PROPUESTO</b>
<b>1</b>	Montería, Tierra Alta, Cerete, Momil, San Bernardo del Viento, Montería	Montería, Ayapel, Ciénega de Oro, Valencia, Montería
<b>2</b>	Montería, Cerete, Ciénega de Oro, Montería	Montería, Cerete, Puerto Escondido, Los Córdoba, Montería
<b>3</b>	Montería, Pueblo Nuevo, Sahagún, Chinú, Montería	Montería, Momil, Lórica, Montería
<b>4</b>	Montería, Tierra Alta, Montería	Montería, Montelibano, Tierra Alta, Buena Vista, Montería
<b>5</b>	Montería, Valencia, Montería	Montería, Planeta Rica, Pueblo Nuevo, Montería
<b>6</b>	Montería, Lórica, Moñitos, Montería	Montería, Sahagún, Chinú, Chima, Montería
<b>7</b>	Montería, Los Córdoba, Puerto Escondido, Montería	Montería, San Bernardo del Viento, Moñitos, San Pelayo, Montería
<b>8</b>	Montería, Ayapel, Montería	Montería, San Carlos, Montería
<b>9</b>	Montería, Montelibano, Montería	
<b>10</b>	Montería, Lórica, Momil, Chima, Montería	
<b>11</b>	Montería, Planeta Rica, Montería	
<b>12</b>	Montería, San Carlos, Montería	
<b>13</b>	Montería, Buena Vista, Montería	

Anexo 16: Mapa Rutas por Delegado Córdoba



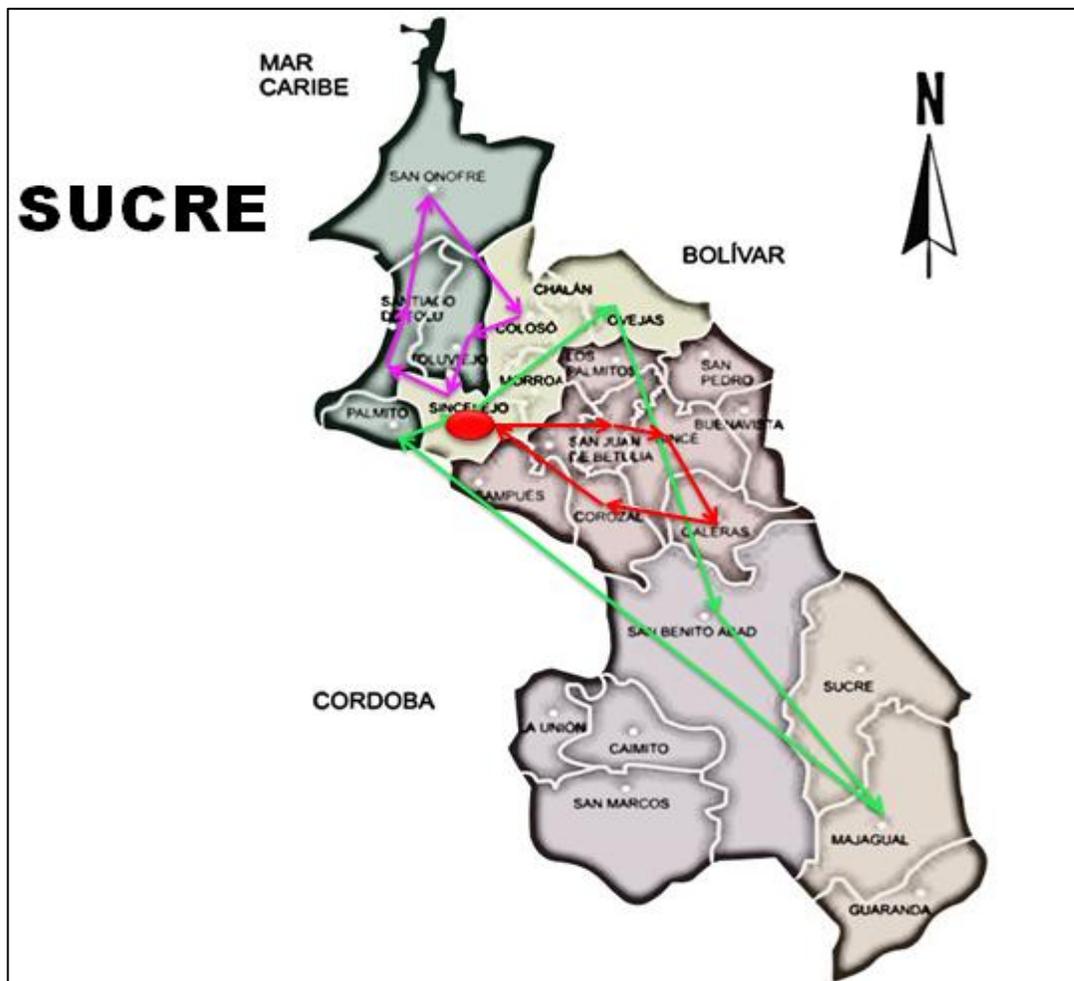
Anexo 15: Asignación Rutas Sucre

RUTEO SUCRE				
PROPUESTO	Delegados	# de Municipios visitados	Duración de ruteo (hr)	Duración de ruteo (Días)
3 DELEGADOS	1	7	627	26
	2	6	680	28
	3	6	674	28
ACTUAL CPE	Delegados	# de Municipios visitados	Duración de ruteo (hr)	Duración de ruteo (Días)
6 DELEGADOS	1	5	628	26
	2	3	170	7
	3	6	483	20
	4	4	267	11
	5	4	247	10
	6	3	204	9

**Anexo 16: Ruteo Sucre por Delegado**

VEHÍCULOS	RUTEO CPE	RUTEO PROPUESTO
1	Sincelejo, Sincé, Galeras, El Roble, Sincelejo	Sincelejo, El Roble, Santiago de Tolú, San Onofre, Coloso, Tolú Viejo, Sincelejo
2	Sincelejo, Palmito, Sincelejo	Sincelejo, Ovejas, San Benito de Abad, Majagual, Palmito, Sincelejo
3	Sincelejo, Tolú Viejo, Santiago de Tolú, San Onofre, Coloso, Sincelejo	Sincelejo, San Juan de Betulia, Sincé, Galeras, Corozal, Sincelejo
4	Sincelejo, Corozal, Ovejas, Sincelejo	
5	Sincelejo, San Juan de Betulia, San Benito de Abad, Sincelejo	
6	Sincelejo, Majagual, Sincelejo	

**Anexo 19: Mapa Rutas por Delegado Sucre**



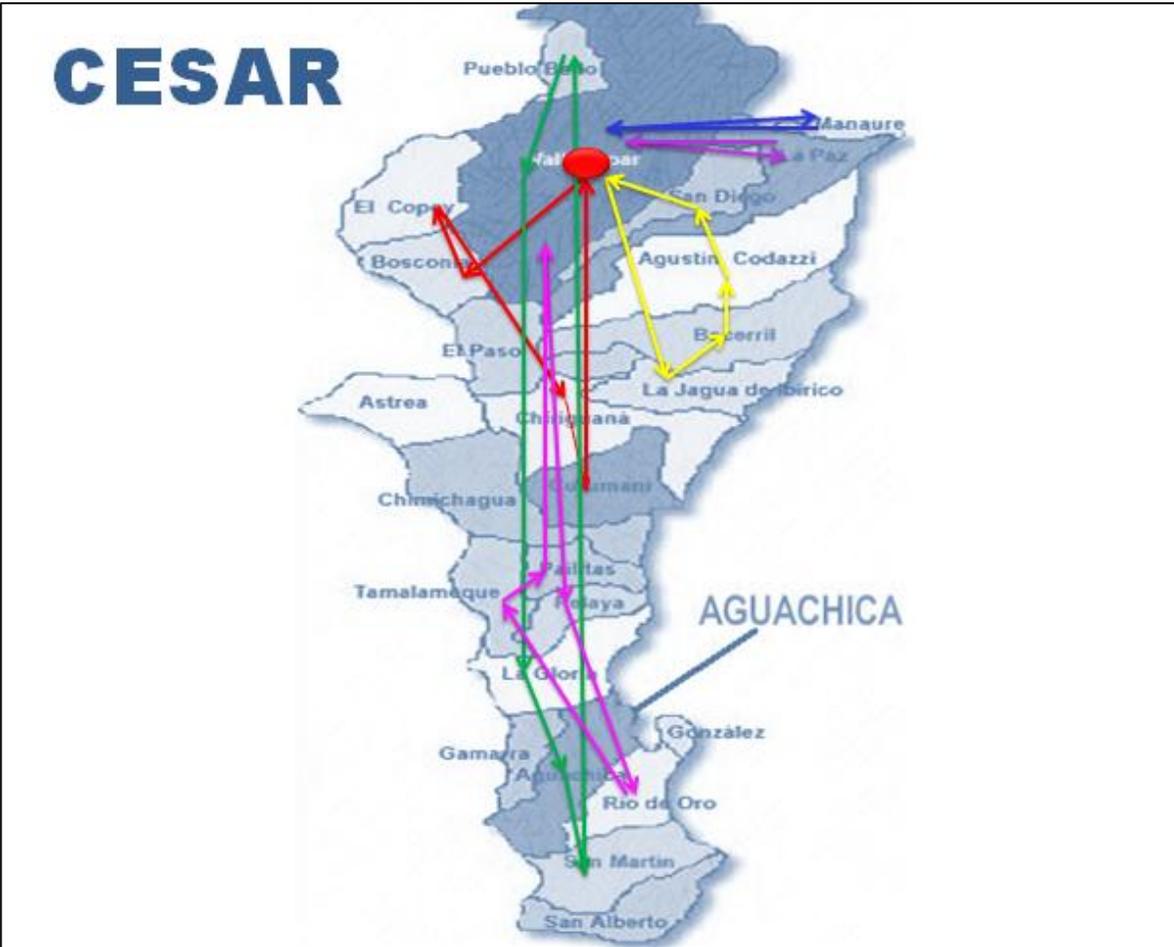
Anexo 20: Ruteo Cesar

RUTEO CESAR				
<b>PROPUESTO</b> 6 <b>DELEGADOS</b>	<b>Delegados</b>	<b># de Municipios visitados</b>	<b>Duración de ruteo (hr)</b>	<b>Duración de ruteo (Días)</b>
	1	4	368	15
	2	4	559	23
	3	4	484	20
	4	1	145	6
	5	1	49	2
6	4	518	22	
<b>ACTUAL CPE</b> 4 <b>DELEGADOS</b>	<b>Delegados</b>	<b># de Municipios visitados</b>	<b>Duración de ruteo (hr)</b>	<b>Duración de ruteo (Días)</b>
	1	6	420	17
	2	3	541	23
	3	6	708	30
4	3	461	19	

Anexo 21: Ruteo Cesar por Delgado

<b>VEHÍCULOS</b>	<b>RUTEO CPE</b>	<b>RUTEO PROPUESTO</b>
1	Valledupar, Manaure, La Paz, Pueblo Bello, San Diego, Bosconia, El Copey, Valledupar	Valledupar, Bosconia, El Copey, Chiriguana, Churumani, Valledupar
2	Valledupar, Aguachica, Rio de Oro, San Martin, Valledupar	Valledupar, La Gloria, Aguachica, San Martin, Pueblo Bello, Valledupar
3	Valledupar, Chiriguana, Churumani, Pailitas, Tamalameque, Pelaya, La Gloria, Valledupar	Valledupar, La Jagua de Ibirico, Becerril, Agustín Codazzi, San Diego, Valledupar
4	Valledupar, Agustín Codazzi, Becerril, La Jagua de Ibirico, Valledupar	Valledupar, La Paz, Valledupar
5		Valledupar, Manaure, Valledupar
6		Valledupar, Pelaya, Rio de Oro, Tamalameque, Pailitas, Valledupar

Anexo 22: Mapa Rutas por Delegado Cesar



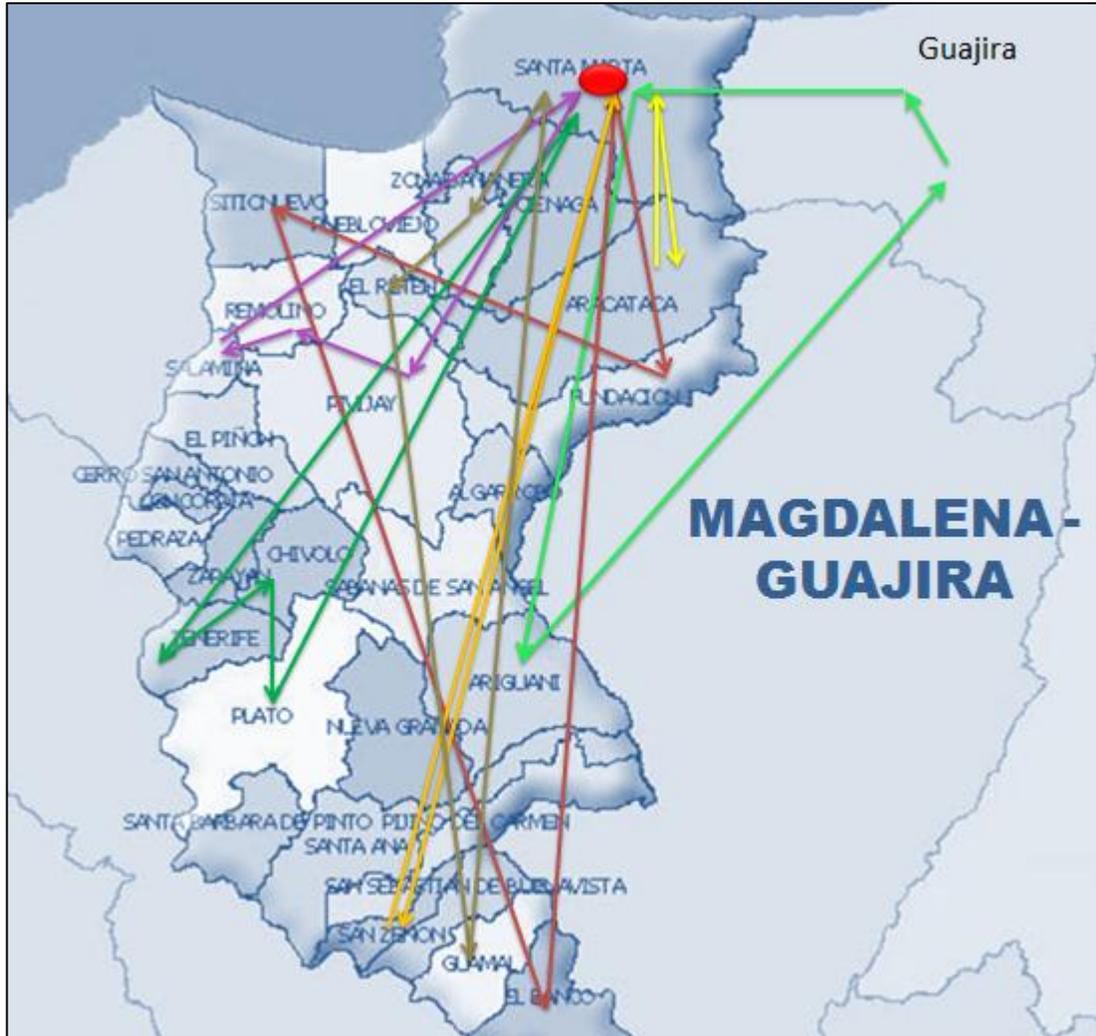
Anexo 23: Ruteo Magdalena - Guajira

RUTEO MAGDALENA - GUAJIRA				
PROPUESTO	Delegados	# de Municipios visitados	Duración de ruteo (hr)	Duración de ruteo (Días)
<b>7 DELEGADOS</b>	1	3	172	7
	2	5	617	26
	3	5	877	37
	4	5	465	19
	5	3	201	8
	6	5	851	35
	7	5	632	26
ACTUAL CPE	Delegados	# de Municipios visitados	Duración de ruteo (hr)	Duración de ruteo (Días)
<b>8 DELEGADOS</b>	1	3	132	5
	2	5	679	28
	3	3	295	12
	4	4	611	25
	5	3	201	8
	6	4	351	15
	7	7	869	36
	8	4	707	29

Anexo 24: Ruteo Magdalena - Guajira por Delegado

VEHÍCULOS	RUTEO CPE	RUTEO PROPUESTO
<b>1</b>	Santa Marta, Villa Nueva, Santa Marta	Santa Marta, Aracataca, Santa Marta
<b>2</b>	Santa Marta, Aracataca, El Reten, Fundación, Santa Marta	Santa Marta, Ariguani, Villa Nueva, Riohacha, Santa Marta
<b>3</b>	Santa Marta, Riohacha, Santa Marta	Santa Marta, Fundación, Sitio Nuevo, El Banco, Santa Marta
<b>4</b>	Santa Marta, El Banco, El Guamal, Santa Marta	Santa Marta, Pivijay, Remolino, Salamina, Santa Marta
<b>5</b>	Santa Marta, San Zenón, Santa Marta	Santa Marta, San Zenón, Santa Marta
<b>6</b>	Santa Marta, Tenerife, Ariguani, Santa Marta	Santa Marta, Tenerife, Chibolo, Plato, Santa Marta
<b>7</b>	Santa Marta, Sitio Nuevo, Remolino, Salamina, Pivijay, Zona Bananera, Santa Marta	Santa Marta, Zona Bananera, El Reten, Guamal, Santa Marta
<b>8</b>	Santa Marta, Chibolo, Plato, Santa Marta	

Anexo 25: Mapa Rutas por Delegado Magdalena - Guajira



Anexo 26: Ruteo Norte de Santander

<b>RUTEO NORTE DE SANTANDER</b>				
<b>PROPUESTO</b>	<b>Delegados</b>	<b># de Municipios visitados</b>	<b>Duración de ruteo (hr)</b>	<b>Duración de ruteo (Días)</b>
<b>8 DELEGADOS</b>	1	7	470	20
	2	3	99	4
	3	7	683	28
	4	3	25	1
	5	7	973	41
	6	7	369	15
	7	3	26	1
	8	5	365	15
<b>ACTUAL CPE</b>	<b>Delegados</b>	<b># de Municipios visitados</b>	<b>Duración de ruteo (hr)</b>	<b>Duración de ruteo (Días)</b>
<b>8 DELEGADOS</b>	1	8	391	16
	2	3	84	4
	3	6	364	15
	4	3	511	21
	5	4	257	11
	6	4	345	14
	7	5	468	20
	8	9	608	25

Anexo 17: Ruteo Norte de Santander por Delegado

<b>VEHÍCULOS</b>	<b>RUTEO CPE</b>	<b>RUTEO PROPUESTO</b>
<b>1</b>	Cúcuta, San Cayetano, Salazar, Cachira, La Esperanza, Arboleda, Cucutilla, Cúcuta	Cúcuta, Bucaracia, El Zulia, Tibu, Cachira, La Playa, Cúcuta
<b>2</b>	Cúcuta, El Zulia, Cúcuta	Cúcuta, Cacota, Cúcuta
<b>3</b>	Cúcuta, La Playa, Lourdes, El Tarrá, Tibu, Cúcuta	Cúcuta, El Carmen, San Calixto, Teorama, El Tarrá, Sardinata, Cúcuta
<b>4</b>	Cúcuta, Ocaña, Cúcuta	Cúcuta, Los Patios, Cúcuta
<b>5</b>	Cúcuta, Convención, El Carmen, Cúcuta	Cúcuta, Ocaña, Abrego, Convención, La Esperanza, Chitaga, Cúcuta
<b>6</b>	Cúcuta, Abrego, Bucaracia, Cúcuta	Cúcuta, Pamplona, Cucutilla, Arboleda, Salazar, Lourdes, Cúcuta
<b>7</b>	Cúcuta, Sardinata, San Calixto, Teorama, Cúcuta	Cúcuta, San Cayetano, Cúcuta
<b>8</b>	Cúcuta, Los Patios, Pamplona, Pamplonita, Cacota, Chitaga, Labateca, Toledo, Cúcuta	Cúcuta, Toledo, Labateca, Pamplonita, Cúcuta

Anexo28: Mapa Rutas por Delegado Norte de Santander

