

**PROPUESTA DE UN MODELO DE ASIGNACIÓN Y SECUENCIACIÓN DE RUTAS
PARA LAS VISITAS DE INTERVENCIÓN DOMICILIARIAS DE UNA FUNDACIÓN
OPERADORA DEL PROGRAMA DE ICBF EN EL DEPARTAMENTO DE RISARALDA**

CARLOS IVÁN GRANADOS FERNÁNDEZ

DANIEL ALEXANDER GUZMÁN VALDES



UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL

2020

**PROPUESTA DE UN MODELO DE ASIGNACIÓN Y SECUENCIACIÓN DE RUTAS
PARA LAS VISITAS DE INTERVENCIÓN DOMICILIARIAS DE UNA FUNDACIÓN
OPERADORA DEL PROGRAMA DE ICBF EN EL DEPARTAMENTO DE RISARALDA**

CARLOS IVÁN GRANADOS FERNÁNDEZ

DANIEL ALEXANDER GUZMÁN VALDES

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero industrial

Director

MSc. Carlos Alberto Rojas Trejos

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL

2020

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	7
1.1	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.2	OBJETIVOS	10
1.2.1	OBJETIVO GENERAL.....	10
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3	JUSTIFICACIÓN	10
1.4	ANTECEDENTES	11
1.5	DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	15
2	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE VISITAS DE INTERVENCIÓN FAMILIAR.....	16
3	PROPUESTA DEL MODELO MATEMÁTICO.....	29
3.1	FORMULACIÓN.....	29
3.2	SUPUESTOS Y PARÁMETROS DEL MODELO	30
3.3	ASIGNACIÓN (MILP).....	31
3.4	ENRUTAMIENTO (VRPTW + MTZ).....	33
4	VALIDACIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
4.1	Asignación.....	35
4.2	Enrutamiento.....	36
	CONCLUSIONES.....	40
	RECOMENDACIONES	41
	BIBLIOGRAFIA	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación puntos de interés	18
Figura 2. Vinculación de las familias según manual operativo UNAFA	19
Figura.3 Comparativo diagnostico vs modelo.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información familias.....	16
Tabla 2. Cronograma de visitas de intervención	21
Tabla 3. Cluster	22
Tabla 4. Formato mensual utilizado por un facilitador	23
Tabla 5. Diagnostico actual costos de transporte Facilitador 1.	25
Tabla 6. Diagnostico actual costos de transporte Facilitador 2.	27
Tabla 7. Diagnóstico costo actual de transporte:.....	28
Tabla 8. Valores y supuestos	30
Tabla 9. Asignacion de familias	35
Tabla 10. Familias asignadas y su disponibilidad CZ Pereira	36
Tabla 11. Familias asignadas y su disponibilidad CZ Dosquebradas.....	37
Tabla 12. Informacion rutas asociadas CZ Pereira	37
Tabla 13. Resultados secuencia visitas CZ Pereira.	38
Tabla 14. Informacion rutas asociadas CZ Dosquebrada	38
Tabla 15. Resultados secuencia visitas CZ Dosquebradas	38
Tabla 16. Información y resultados costos de transporte con modelación	39

RESUMEN

El sistema de visitas de intervención familiar que realiza el personal encargado a personas en situación de discapacidad cognitiva absoluta hacen parte de un problema de ruteo y asignación.

Este documento aborda una variación del problema TSP con ventanas de tiempo, donde las ventanas de tiempo de las visitas deben ser respetadas. El desafío a la hora de asignar y rutear las visitas de cada familia a cada facilitador radica en minimizar el tiempo de espera de inicio de cada visita y la distancia entre cada una de ellas.

Se formula un modelo matemático donde se utilizará lenguaje de programación AMPL para solucionar el problema de asignación de las familias y que además establezca la secuenciación de ruta a cada uno de los facilitadores para disminuir el tiempo en ruta y los costos totales de transporte en una fundación objeto de estudio. Conociendo así las distancias de recorrido mínimas, los tiempos de desplazamiento y el costo relacionado con el transporte a cada uno de los nodos asignados teniendo presente los límites de los facilitadores en cuanto a la cantidad de familias a intervenir y el periodo de tiempo que tienen disponibilidad de recibir la visita las familias.

Palabras claves: ventanas de tiempo, ruteo de vehículos, visitas de intervención domiciliaria, Risaralda, multi- depósito.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el diseño de rutas se ha transformado en un fundamento de ventajas competitivas para todas aquellas empresas que han tecnificado este proceso logístico, puesto que les ha permitido disminuir sus costos y optimizar sus ganancias debido a la sobresaliente utilización de la flota en términos de su dimensión de transporte, lo que se traduce a su vez en un aumento de la calidad del servicio (Ramos ,2010)

El trabajo de manera conjunta con los entes gubernamentales nos brinda la oportunidad de poder hacer uso de herramientas de ingeniería que nos permiten aportar en la mejora de procesos logísticos, este es el caso de la fundación caso de estudio en su modalidad UNAFA(Unidades de Apoyo y Fortalecimiento Familiar) ubicada en el departamento de Risaralda, donde su trabajo es garantizar el cumplimiento de los derechos de niños, niñas y adolescentes víctimas del conflicto armado y/o en situación de discapacidad con derechos ya sea vulnerados amenazados o inobservados. Como complemento al proceso administrativo y del restablecimiento de derechos del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) se encuentra la realización de visitas de intervención domiciliarias el cual está relacionado con el tema de enrutamiento de vehículos y donde finalmente será el punto de partida donde llevaremos a cabo nuestro trabajo.

La investigación se centra en el primer componente del proyecto, “Fortalecimiento de la dinámica familiar”, en el que se contempla la realización de 60 visitas de intervención familiar (una por mes a cada familia), en las cuales los profesionales a cargo, también llamados facilitadores, se encargan de realizar la intervención que a nivel familiar es necesaria y lo que a su vez demanda un conocimiento previo de las rutas que se requieren realizar para cada visita.

Debido a esa necesidad, se convierte en una prioridad esencial el uso de una herramienta de optimización que permita una mejor utilización de los recursos destinados a los facilitadores y por ende para la fundación operadora del proyecto.

De acuerdo a los planteamientos expuestos anteriormente, se identificó la necesidad de diseñar un modelo de asignación y secuenciación de ruta para las visitas de intervención domiciliarias, debido a que para dichas visitas de intervención no existe una asignación optima ni una ruta en la que se indique a cuales familias es más eficiente asistir desde el punto de partida, hasta cada familia, que finalmente logre minimizar distancias y aumentar el nivel de servicio prestado por la fundación caso de estudio.

1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Instituto Colombiano de Bienestar Familiar - ICBF, es la entidad del estado colombiano que trabaja por la prevención y protección integral de la primera infancia, la niñez, la adolescencia y el bienestar de las familias en Colombia, brindando atención especialmente a aquellos en condiciones de amenaza, inobservancia o vulneración de sus derechos, llegando a más de 8 millones de colombianos con sus programas, estrategias y servicios de atención con 33 sedes regionales y 209 centros zonales en todo el país (ICBF, 2017).

Para la inserción en ICBF se analizan las familias que sean denunciadas por parte ya sea de la misma familia o por parte de algún testigo que sea consciente de la situación donde pueda estarse presentando una condición de amenaza, inobservancia o vulneración de derechos para los menores, donde se entrara a hacer un proceso administrativo de restablecimiento de derechos PAD.

Uno de los programas de prevención y protección integral que ofrece ICBF es la medida de restablecimiento de derechos la cual atiende niños en condición de discapacidad y adultos en condición de discapacidad cognitiva absoluta (aquella discapacidad en donde la persona no puede valerse por sí misma por un tipo de discapacidad cognitiva).

Desde el año 2016 la fundación caso de estudio viene operando la modalidad de Unidad de apoyo y fortalecimiento familiar (UNAFa), siendo esta la modalidad encargada de generar procesos de transformación social que promuevan el restablecimiento y goce efectivo de los derechos de niños, niñas y adolescentes con discapacidad y sus familias reconociendo su diversidad, para ello la fundación caso de estudio contrata 120 profesionales con un perfil social que se denominan facilitadores los que se encargan del cumplimiento de los componentes del manual operativo de UNAFa, que son : Fortalecimiento de la dinámica familiar, Participación social con incidencia en la política pública de discapacidad y autogestión para la productividad. Para el cumplimiento de estos componentes los facilitadores deben realizar encuentros familiares, visitas de intervención familiar en domicilio y gestión interinstitucional.

Esta modalidad se encuentra a nivel nacional en Colombia seccionada en 6 macro regiones que abarcan determinado número de departamentos, para el presente trabajo se tomara como referencia el Departamento de Risaralda. perteneciente a la macro región número 4 compuesta por los departamentos: Quindío, Caldas, Cauca, Risaralda, Valle del Cauca y Nariño. Cada uno de los facilitadores tiene asignadas como máximo 30 familias, en este caso específico el departamento de Risaralda cuenta con un cupo para el programa UNAFa de 60 familias, por tanto, son necesarios 2 facilitadores.

La actividad de visitas domiciliarias tiene un presupuesto definido de \$750.000, este valor se basa en consideraciones empíricas e históricos del mismo proyecto, donde

asignan \$25.000 pesos por familia. Esta actividad actualmente cuesta un promedio de \$880.000 lo que genera que el excedente deba ser pagado por el facilitador para poder cumplir con las citas de intervención definidas, de igual manera consideran 5 días laborales para la realización de las visitas como el tiempo mínimo para poder llevarlas a cabo generando así un promedio de 1.200 minutos de espera del facilitador debido a la inconsistencia entre la planificación de las visitas y la disponibilidad de las familias para atender la visita, teniendo en cuenta que es indispensable considerar la disponibilidad de los adultos responsables del niño para el recibimiento de la visita (ventana de tiempo). Actualmente ni la fundación caso estudio ni ICBF cuentan con un sistema que asigne las familias a cada facilitador y tampoco un sistema de ruteo que les arroje la ruta óptima de tal manera que se minimicen los costos de desplazamiento considerando la disponibilidad de la persona encargada del niño.

Uno de los problemas más frecuentes a los que se enfrentan las organizaciones es el de hacer una selección de la ruta que deben tomar los vehículos que distribuyen el producto terminado a los clientes, así como la asignación de qué bodega suplirá a qué cliente. Si comparamos esto con la situación de la fundación caso estudio surge la misma necesidad, es decir, se requiere un sistema de asignación y ruteo de tal manera que los costos de transporte al realizar las visitas de intervención sea el óptimo.

Según Gunawan (2016), por optimización se entiende encontrar el valor que sea máximo o mínimo dentro de una función matemática inmersa en un modelo que describe una situación problema restringida por múltiples factores, definida en un dominio de acuerdo a la empresa y sus necesidades, que pretenderá alcanzar los mayores rendimientos económicos, esto puede verse reflejado ya sea en costos directos de transporte y presupuesto, tiempos de operación, maquinarias o equipos, lo que causa una condición para la selección de la mejor opción dentro del modelo”, en este sentido el propósito que se persigue en las organizaciones cuando se toma una decisión es llevar a cabo un plan que le permita a las mismas solucionar sus problemas de una manera efectiva de tal modo que el beneficio sea máximo con los recursos mínimos.

Esta idea contextualizada a la logística de distribución, como lo afirma Toth y Vigo (2000) “El problema de distribuir productos desde ciertos depósitos a sus usuarios finales juega un papel central en la gestión de algunos sistemas logísticos, y su adecuada planificación puede significar considerables ahorros de tiempo y/o dinero”, esos potenciales ahorros justifican en gran medida la utilización de técnicas de investigación operativa como facilitadoras de la planificación. En este sentido se establece una relación equivalente con la situación de la fundación caso estudio y surge la siguiente pregunta de investigación:

1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con base en lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo debe ser la propuesta de un modelo matemático que asigne las familias y establezca la secuenciación de ruta a cada uno de los facilitadores para disminuir los costos totales de transporte en una fundación que opera el programa UNAFA de ICBF en el departamento de Risaralda?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo de asignación y secuenciación de visitas domiciliarias familiares que contribuya a minimizar los costos totales de transporte de los facilitadores en una fundación que opera el programa UNAFA de ICBF en el departamento de Risaralda.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el sistema de asignación y la secuenciación de ruta actual que tiene la fundación caso de estudio
- Proponer un modelo matemático de asignación y secuenciación de ruta a partir de un análisis de revisión de la literatura.
- Desarrollar un análisis comparativo de los resultados del modelo con base en las características de operación de la situación actual.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de grado surge a partir de la necesidad de diseñar un modelo de asignación y ruteo para la fundación caso estudio que opera el programa UNAFA del instituto colombiano de bienestar familiar ICBF, dado que una de las actividades para cumplir con los objetivos del programa es realizar visitas de intervención domiciliarias por parte del grupo de trabajo que lo ejecuta, denominados facilitadores, pues en la actualidad no se cuenta con un sistema adecuado de asignación de las familias para cada uno de ellos ni de la ruta que deben tomar considerando la disponibilidad de los encargados de cada hogar que atenderán la visita, lo que conlleva a incurrir en grandes desperdicios de dinero, tiempo y sobre esfuerzo laboral teniendo en cuenta que la actividad de las visitas es solo uno de los servicios que prestan los facilitadores pues se debe llevar a cabo todo un proceso de intervención social, que consta de informes de visitas, sistematizaciones, gestiones inter institucionales, seguimiento familiar, creación de proyectos productivos entre otras .

El desarrollo de esta investigación beneficiara directamente a la fundación caso de estudio como operadores de la modalidad UNAFA ya que aportara un proceso logístico con el que no cuentan actualmente, de este modo se generaran ahorros económicos y beneficios de salud laboral por el esfuerzo adicional que repercute en los facilitadores al tener que desplazarse distancias más amplias, como lo dicen Olli Bräysy; Wout Dullaert y Pentti Nakari (2008) “El sector municipal ofrece una variedad de servicios que están relacionados con el traslado de personas o materiales en beneficio de la comunidad. La mayoría de estos problemas pueden ser modelados como variantes de problemas de enrutamiento. Los problemas de enrutamiento están entre los más estudiados problemas de optimización en la literatura de investigación de operaciones.

En su forma más básica, el problema de enrutamiento de vehículos (VRP) consiste en diseñar el patrón de distribución más barata para dar servicio a un número de clientes” En este sentido la población en condición de discapacidad tendrá beneficios implícitos pues si se genera un ahorro de dinero, ICBF podrá tomar medidas respecto a qué hacer con el dinero que actualmente se está malgastando, ya que el presupuesto base es de \$ 1.500.000 mensuales para todas las actividades, donde el 100% se enfoca en los costos de transporte para las vistas de intervención , al optimizar este porcentaje se puede considerar abrir nuevos cupos para la modalidad en la región, pues se disminuyen los gastos y el tiempo de ejecución de las actividades de cada facilitador.

1.4 ANTECEDENTES

Bender (2009) afirma que el sistema de transporte es el componente más importante para la mayoría de las organizaciones, debido a que el éxito de una cadena de abastecimiento está estrechamente relacionado con su diseño y uso adecuado, actualmente es de vital importancia realizar una excelente asignación y secuenciación de ruta en empresas responsables de mover productos terminados, materias primas, servicio e insumos, entre empresas y clientes que se encuentran dispersos geográficamente, y agregar valor a los productos transportados con el fin de entregarlos a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas, optimizar los recursos disponibles y minimizar los costos asociados con el transporte son altamente representativos en la cadena de abastecimiento y están involucrados directamente con la relación que se tiene con proveedores, clientes y competidores. (Leoncio, 2013)

Es por eso que si se desea tener una administración efectiva del sistema de transporte es necesaria la utilización de un sistema de asignación de rutas (VRP), ya que este se enfoca a la optimización del proceso de distribución de personas y mercancías y cuyo objetivo principal es minimizar tiempos y costos en el proceso de entrega y recogida y en general los costos totales de toda organización, agregando valor al producto a entregar.

Dentro de la literatura se encuentran varios métodos, e investigaciones las cuales nos ayudaran a mejorar la situación de la fundación caso de estudio que opera el programa UNAFA de ICBF en el departamento de Risaralda.

Entre ellas la investigación de Sun et al. (2014) que señala como la asignación de las rutas deben establecerse teniendo como referencia los costos totales marginales de la ruta según la ubicación de cada cliente, teniendo en cuenta que cada vehículo visita una única vez a un cliente y regresa siempre al mismo punto de partida, se hace una exclusión de las rutas no óptimas del modelo mediante el uso del algoritmo de Nelder-Mead que excluyen las soluciones negativas con lo que el tiempo de resolución computacional y el promedio de rutas no optimas se reducen en valores porcentuales tales como 35%,48% y 65% en comparación con otros modelos tales como valor de Shapley y métodos de asignación proporcionales respectivamente.

Por otra parte Jozefowicz, Semet y Talbi (2007) en su trabajo examinan las investigaciones existentes acerca del problema de optimización multi-objetivo en lo problemas de TSP (travelling salesman problema) y VRP (Vehicle routing problema) destacando su importancia pues hacen énfasis en que los problemas de ruteo no siempre se limitan a los gastos sino a otros factores que dependiendo del problema resultan ser igual de importantes, tales como el equilibrio de cargas de trabajo, el tiempo y la distancia. Para ello los autores hacen una caracterización de cada problema multi-objetivo existente mediante el uso de una tabla donde los ordenan por autores, problema, método, tour, nodos/arcs y recursos, posteriormente proceden a explicar en qué consiste cada uno de los problemas y sus posibles variaciones destacando las situaciones de la realidad donde cada uno de estos podría adaptarse.

Sevel, Rasmussen y Larsen (2011) muestran en su trabajo cómo generalizando el problema de enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo pueden lograr la programación de la tripulación de un problema personal de cuidadores en casa, maximizando el nivel de servicios por medio de la asignación de un número determinado de visitas a los pacientes. Uno de los grandes desafíos en el momento de asignar las visitas al hogar de los cuidadores radica en la existencia de limitaciones y de preferencia en dependencias temporales entre los tiempos de inicio de las visitas. Los autores presentan un novedoso enfoque basado en clústeres visita el soft-preferencia limitaciones. El algoritmo es probado tanto en casos de problemas de la vida real y en instancias de prueba generadas inspirado en valores realistas.

En el siguiente artículo Bräysy, Dullaert y Nakari (2009) enseñan un caso de estudio que se muestra el potencial de la aplicación de software de optimización para el cuidado en el hogar, el transporte de los ancianos y de entrega de comidas en casa, se tomaron cuatro escenarios diferentes que fueron probados para la optimización. La

optimización se llevó a cabo a través de la cruceta VRP optimización comercial solver y en cada escenario, la duración típica de las visitas de los clientes se basa en datos de la vida real, La optimización se realiza mediante la araña solver comercial. Sobre la base de los resultados obtenidos, los kilómetros recorridos diarios bajaron de 316 a 181, es decir, un 42,7% de ahorro en la distancia recorrida.

También se aprecia como Elloumi et al. (2014) señalan en su investigación un novedoso método híbrido que combina la Optimización de enjambre de partículas (PSO) y optimización de colonia de hormigas (ACO) de algoritmos. El rendimiento es validado mediante el TSP de referencia y los resultados empíricos considerando el tiempo de finalización y la duración apropiada, e ilustra que el método propuesto es eficiente. Unos problemas de enjambre de optimización basado en algoritmos pueden aplicarse en diferentes campos-ent como control distribuido de robótica colectiva o la gestión del tráfico de red.

En este trabajo Bräysy; Dullaert; Neittaanmäki (2009) se enfocan en aplicaciones de enrutamiento en el sector sanitario y social El problema de optimización de ruta fue modelada como un problema del vendedor viajero con múltiples ventanas de tiempo, con el mínimo de los vehículos y la distancia total como objetivo de los componentes. Para ilustrar ampliamente el potencial disponible de software de enrutamiento, la herramienta de optimización de ruta heurística SPIDER Diseñador, fue utilizado para implementar el modelo y crear automáticamente las rutas optimizadas. Los resultados muestran un importante potencial de ahorro, hasta un 50% tanto en distancia y número de vehículos.

Casazza; Ceselli y Nunkesser (2012) investigan las propiedades teóricas del doble problema del vendedor viajero con varios paquetes, problemas de recogida y entrega donde los vehículos pueden enviar artículos a cada destino sólo después de visitar el origen correspondiente considerando un vehículo único: cada vez que un cliente de origen es visitado sus elementos están amontonadas en la parte posterior del vehículo, y sólo los elementos de la parte superior de la pila son disponibles para su entrega, en este trabajo se ignora la restricción que limita el número de elementos en cada pila , El objetivo principal de este trabajo es investigar las propiedades teóricas del DTSPMS, proporcionando tiempo polinómico sub problemas algoritmos para diferentes. Se centra principalmente en la disminución del problema en que una pila no tiene límite de tamaño

De la misma manera en el modelo de Meyer y Níquel (2016) se trabajó un nuevo problema, al que llamaron el territorio de servicio Multi-Period problema de diseño (MPSTDP). En donde Proponen un enfoque de solución heurística para la programación subproblema. El enfoque es capaz de considerar los requisitos de

planificación pertinentes del PTV's clientes. Donde las tareas de planificación surgen en estas aplicaciones. Los clientes de servicio deben dividirse en territorios con un trabajador de campo responsable de cada territorio. Esta partición se mantiene durante un largo período de tiempo, promoviendo el desarrollo de las relaciones personales entre los trabajadores de campo y los clientes. En un nivel táctico, los horarios de visita tienen que ser creados, lo que significa que los días de visita para cada cliente debe ser determinado y un nivel operacional, incluye la planificación de las rutas diarias y, cuando sea necesario, la reprogramación de las visitas. Ya que, aproximadamente el 20% de las visitas de los clientes necesitan ser reprogramado para el otro día en el corto plazo. Los resultados muestran que el nuevo enfoque produce soluciones de alta calidad y supera a la solución existente método de PTV. El énfasis de esta investigación es poner en la programación subproblema. Proponer un modelo de programación entera mixta para este subproblema y presentar una heurística de asignación de ubicación.

Así mismo Dondo y Cerda (2013) en su trabajo plantean una formulación MILP del método heurístico de barrido para conseguir mejores soluciones al problema de ruteo de vehículos mediante restricciones y reglas necesarias para aliviar el problema de la simetría de las soluciones. Para su modelo el objetivo es minimizar la suma de los costos de cada una de las rutas diseñadas por el método de barrido, y la asignación de clientes a vehículos se han mediante la incursión de una variable binaria donde (1= visita el nodo, 0 de lo contrario) por ende el modelo se modifica a un modelo de programación lineal entero mixto. Para la evaluación de su modelo procedieron a resolver varios modelos de la literatura que sirven para evaluar el desempeño de los nuevos modelos formulados para la resolución del VRP, esta información se estableció en una tabla la cual compara el modelo formulado con otros modelos de la literatura, donde se evidencia que el modelo arroja soluciones efectivas con tiempos de computación acotados que son muy aceptables.

Por otra parte Díaz (2016) en su investigación plantea una metodología de simulación para resolver el problema de secuencia de ruta para las visitas domiciliarias que el sector salud brinda a sus pacientes, las cuales consisten en brindar el servicio profesional a las casas de los usuarios, teniendo en cuenta múltiples criterios de optimización y conociendo la naturaleza dinámica que implica el cuidado domiciliario ya que nuevos pacientes pueden demandar el servicio aun cuando el agente viajero está en ruta, para esto se deben realizar varios esquemas de ruteo en el mismo horizonte de planeación para atender a los nuevos pacientes de forma más eficiente. El ruteo es resuelto mediante un modelo matemático que minimiza los tiempos de transporte de los agentes viajeros en ruta para poder cumplir con la demanda variante en medio de las rutas de la mejor manera posible.

La revisión de literatura permitió conocer de primera mano los diferentes enfoques y alcances que tienen las investigaciones relacionadas con dar solución a los inconvenientes logísticos de transporte tanto de materiales, como de productos y personas. Esta revisión permitió identificar similitudes y una idea clara de cómo abordar la temática a tratar para solucionar la problemática que tiene actualmente la fundación objeto de estudio la cual busca minimizar los costos logísticos de los procesos de intervención de las familias asignadas.

1.5 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Con el fin de dar respuesta a los objetivos del proyecto, se describe la metodología utilizada. Para llevar a cabo el primer objetivo es indispensable caracterizar el sistema de asignación y ruteo actual no solo de la fundación caso de estudio, sino también de los sistemas de asignación y ruteo que ICBF pudiera tener en sus otros programas en donde también se deban realizar visitas de intervención domiciliarias. Así, se recolecta información relevante acerca del funcionamiento actual de la fundación caso de estudio y la metodología de transporte que cada facilitador utiliza así como sus asignaciones de las familias esta información es utilizada de una manera eficiente y poder evaluar el rendimiento actual para conocer los tiempos y costos de la logística de transporte

En el segundo objetivo se realizará una exhaustiva búsqueda en la literatura actual y en todos los medios de información disponibles como bibliotecas, bases de datos digitales, entre otros para saber que métodos han utilizado autores en el pasado cuando se vieron enfrentados a situaciones en las cuales se requería encontrar un modelo matemático de dos fases que realizara una asignación y posteriormente secuenciara las rutas a seguir por cada vehículo, vehículo que en la situación caso estudio será cada facilitador así mismo lo que se denomina cliente en la literatura serán las personas en condición de discapacidad que serán visitados. De acuerdo a lo anterior se procederá a dar cumplimiento al objetivo específico donde se selecciona el modelo matemático que arroje la solución óptima según la revisión de literatura hecha anteriormente para la situación caso estudio y así poder realizar una asignación que determine qué familias le corresponden a cada facilitador, y cuál es la ruta a tomar una vez es establecido el cluster correcto, mejorando la distribución del trabajo que realizan los facilitadores de la fundación caso de estudio en el programa UNAFA.

Para dar respuesta al tercer objetivo específico se prosigue a analizar los resultados del modelo y el impacto en la minimización de los costos de transporte y el tiempo que permanece cada facilitador en ruta, para con esto finalmente llevar a cabo el cumplimiento específico al objetivo el cual es desarrollar una comparación, esto mediante un indicador de relación entre el tiempo de solución para la planeación de las

rutas versus los costos totales y el tiempo de permanencia en ruta que arroje el modelo propuesto.

2 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE VISITAS DE INTERVENCIÓN FAMILIAR

Con el objetivo de garantizar la protección de derechos y el fortalecimiento de los procesos de inclusión social de los niños, niñas y adolescentes con discapacidad, el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) cuenta con la estrategia Unidades de Apoyo y Fortalecimiento Familiar (UNAFA), el cual Desde el año 2016 la fundación caso de estudio viene operando. Esta modalidad se encuentra a nivel nacional, para el presente trabajo se tomará como referencia la regional Risaralda

El departamento de Risaralda cuenta con un numero de 60 familias vinculadas a la modalidad UNAFA, cada uno de los facilitadores tendrá asignadas como máximo 30 familias por tanto son necesarios 2 facilitadores, y serán los encargados de realizar todo el proceso de preparación e intervención en el cual está incluido las visitas de intervención a cada familia.

Se presenta la siguiente tabla con las coordenadas geodésicas registradas por la aplicación “Google Earth” representadas en los grados N (norte) y W (oeste) y las coordenadas cartesianas señaladas. Esta conversión se basa en las ecuaciones de transformación deducidas para el desarrollo transversal cilíndrico terrestre de Mercator, tomando como referencia un elipsoide de revolución y dividiendo la Tierra en 60 husos iguales de 6 grados cada uno. Estas coordenadas en metros se indican mediante una coordenada **X**, una coordenada **Y**, un **huso** y una **zona** o hemisferio Norte o Sur. Obtenidas por la “Calculadora Geodésica Utm<>Geo en su versión 9.201204” de cada uno de los puntos de interés.

Tabla 1. Información familias

Cliente	Nombre	Ubicación		Coordenadas cartesianas	
		latitud	longitud	x [Km]	y [Km]
Nodo A	Centro Zonal Icbf Pereira	4,815	75,708	421,509	532,249
Nodo B	Centro Zonal Icbf Dosquebradas	4,824	75,678	424,765	533,273
Familia 1	Mz 9 Casa 27 B/ La Hacienda Cuba	4,791	75,726	419,435	529,654
Familia 2	Mz 4 Casa 5 B/ La Hacienda Cuba	4,791	75,726	419,46	529,656
Familia 3	Cra 43 # 86b-04 B/Santa Clara	4,79	75,733	418,694	529,537
Familia 4	Mz 42 Casa 29 B/Samaria I	4,797	75,708	421,485	530,28
Familia 5	Cra 6b 3-38 B/Santander	4,811	75,676	425,071	531,811
Familia 6	Mz 2 Casa 16 B/Dorado li	4,802	75,72	420,17	530,786
Familia 7	Mz 25 Casa 2 B/Comfamiliar Cuba	4,796	75,738	418,174	530,218

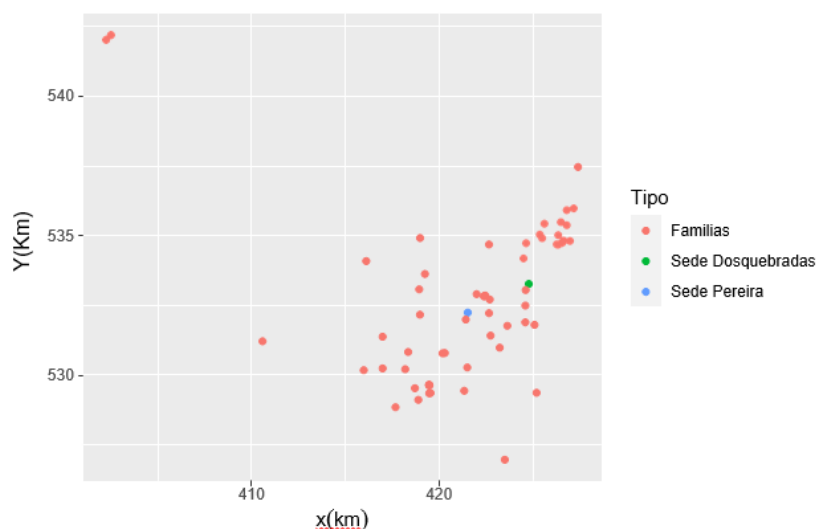
Familia 8	Finca Terrazas Del Palmar B/Villaverde	4,79	75,709	421,321	529,445
Familia 9	Calle 26 # 1-43 B/San Jorge	4,82	75,699	422,437	532,861
Familia 10	Torre 27 Apto 404 Urbanizacion Santa Clara	4,787	75,732	418,875	529,117
Familia 11	Tribunas Pereira Zona Rural Sin Nomenclatura	4,767	75,69	423,488	526,97
Familia 12	Mz 13 Casa 28 B/ Perla Del Sur	4,796	75,758	415,967	530,182
Familia 13	Casa 221 Mz L B/ La Isla	4,807	75,749	416,976	531,38
Familia 14	Mz 5 Casa 3 B/Portal Del Campo	4,805	75,806	410,577	531,221
Familia 15	Calle 25a # 8-31 B/ El Bohio Dos/Das	4,833	75,681	424,453	534,196
Familia 16	Diagonal 29 # 4-45 B/Santa Isabel Dos/Das	4,837	75,68	424,593	534,743
Familia 17	Calle 17 # 11a-61 B/7 De Enero La Virginia	4,903	75,881	402,282	542,042
Familia 18	Cra lib #18b-37 B/Tangarife li La Virginia	4,905	75,879	402,538	542,209
Familia 19	Cra 15# 21-21 B/ Centenario Dosquebradas	4,807	75,697	422,73	531,422
Familia 20	Carrera 7 # 23-19 B/El Japon Dosquebradas	4,815	75,698	422,642	532,23
Familia 21	Mz F Casa 8 B/ Nueva Granada El Martillo Dosquebradas	4,837	75,698	422,645	534,688
Familia 22	Calle 69 #16- C09 Conjunto Ébanos. Apto 202. Torre 1 Dosquebradas	4,848	75,66	426,78	535,924
Familia 23	Mz 22 Casa 14 B/ Malaga Pereira	4,827	75,728	419,229	533,631
Familia 24	Mz 8 Cas 9 B/ Panorama Country 2 Dosquebradas	4,838	75,662	426,611	534,833
Familia 25	Mz 11 Casa 1 B/ La Hacienda Cuba	4,791	75,726	419,466	529,637
Familia 26	Cr 11 12 25 B/ La Paz- Pereira	4,811	75,689	423,617	531,775
Familia 27	Mz 5 Casa 15 B/Hernando Velez	4,812	75,68	424,575	531,901
Familia 28	Mz 59 Casa 2 Hacienda Cuba Pereira	4,791	75,726	419,459	529,645
Familia 29	Calle 72 #30-09 B/La Floresta Cuba Pereira	4,802	75,736	418,337	530,833
Familia 30	Carrera 15b #64-15 B/Santateresita Dosquebradas	4,844	75,663	426,463	535,496
Familia 31	Mz Q Cs 9. B	4,837	75,665	426,302	534,683
Familia 32	Manzana C Casa 5 Apartamento 1	4,837	75,665	426,242	534,702
Familia 33	Sector San Marcos Villa Carola Casa 6	4,862	75,655	427,385	537,47
Familia 34	Mz 11 CRA 26 A # 58-42 B.	4,838	75,659	426,952	534,821
Familia 35	Calle 54 # 21-28	4,837	75,663	426,485	534,743
Familia 36	Manzana A Casa 8 A	4,817	75,68	424,579	532,498
Familia 37	Manzana N Casa 9	4,849	75,657	427,155	535,989
Familia 38	Cs 6.	4,84	75,673	425,328	535,051
Familia 39	Calle 11b # 20-05	4,822	75,68	424,599	533,057
Familia 40	Carrera 11 N° 42-41	4,839	75,672	425,456	534,921
Familia 41	Calle 56 N° 17-26	4,84	75,664	426,319	535,031
Familia 42	Calle 65 # 19-43.	4,843	75,66	426,778	535,386
Familia 43	Cra 19a N° 49a 49	4,844	75,671	425,577	535,44
Familia 44	Calle 37 # 12-69	4,813	75,709	421,404	532
Familia 45	Mz 25 Casa 22 Comuna Villa Santana	4,789	75,675	425,175	529,371
Familia 46	Calle 23 # 2-14	4,819	75,697	422,687	532,719

Familia 47	Mz1 Cs 3	4,797	75,749	416,977	530,248
Familia 48	Calle 26 N. 1-A-49	4,82	75,7	422,425	532,841
Familia 49	Manzana 18 Casa 22	4,789	75,726	419,454	529,352
Familia 50	Combia Vereda La Renta	4,832	75,757	416,099	534,094
Familia 51	Mz 9 Cs 27	4,802	75,719	420,291	530,799
Familia 52	Mz 8 Casa 17	4,784	75,742	417,66	528,855
Familia 53	Cra 1 Oficial # 30-14	4,821	75,704	421,986	532,912
Familia 54	Carrera 19 # 16-38	4,803	75,692	423,213	530,987
Familia 55	Calle 26bis N° 1a-49	4,82	75,7	422,365	532,831
Familia 56	Mz 2 Casa 25	4,789	75,726	419,528	529,361
Familia 57	Mz 7 Cs 15	4,814	75,731	418,968	532,174
Familia 58	Cra 1 Diagonal 28a Casa D15 Barrio Lucitania	4,839	75,731	418,971	534,924
Familia 59	Calle 56 N° 21-58 San Diego	4,838	75,662	426,55	534,765
Familia 60	Ciudadela Del Café Sector E Mz 21 Casa 133 Parque Industrial	4,822	75,731	418,923	533,083

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La fundación caso estudio debe garantizar el cumplimiento de la modalidad UNAFa según los componentes del manual operativo en sus 3 Etapas, el sistema actual de visitas de intervención que realizan los facilitadores se encuentran en la etapa 1 (preparación) y 2 (Intervención). Se adjunta en la figura 1. la ubicación de los puntos de interés.

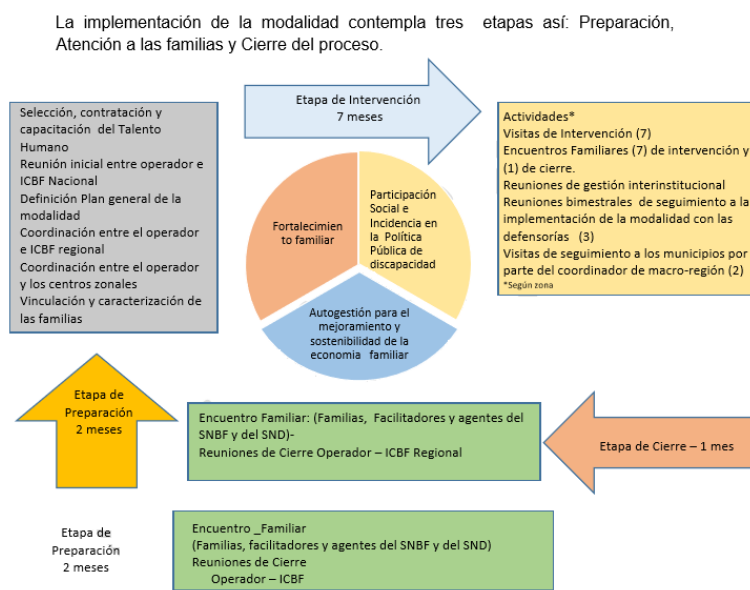
Figura 1. Ubicación puntos de interés



Fuente: Elaboración propia, 2020

De forma análoga, se presenta la figura 2 donde se ilustra la ejecución de la modalidad desde la preparación hasta el cierre, pasando por la etapa de intervención donde se enfoca el presente trabajo de grado:

Figura 2. Etapas de vinculación de las familias



Fuente: Manual operativo UNAFA, 2018.

El ente gubernamental (ICBF), cuenta con una base de datos que pertenece al programa Hogar Gestor en la cual se encuentra información importante de las familias que pertenecen al programa, esa información es utilizada para seleccionar las familias y asignarlas a cada macro región y luego a cada ciudad, según los criterios de priorización establecidos por en el ente gubernamental; es decir las familias se asignan de un listado en cola que se actualiza anualmente, para el caso de la regional Risaralda la fundación recibe 60 familias (cupó actual) con todos los datos e información pertinentes para que los facilitadores puedan desempeñar bien su trabajo.

Una vez se tienen los datos de las familias, los 2 facilitadores planean una reunión donde se distribuyen las familias teniendo en cuenta criterios propios, considerando variables relevantes como antigüedad, cercanía a su vivienda, cercanía entre familias y gustos particulares (Criterio subjetivo de nivel de peligro en barrio, conocimiento del territorio, entre otras)

Situación actual de distribución año 2019 en la macro región Risaralda:

Visitas domiciliarias (Etapa intervención):

Etapas de intervención

Esta etapa se compone de 5 actividades principales:

Actividad	Descripción
1	Visitas de Intervención
2	Encuentros Familiares
3	Reuniones de gestión interinstitucional (fundación-ente gubernamental)
4	Reuniones bimestrales de seguimiento a la implementación de la modalidad con las defensorías
5	Visitas de seguimiento a los municipios por parte del coordinador de macro-región

Fuente: Fundación objeto de estudio, 2020.

En el escenario inicial las visitas domiciliarias de la etapa 2 (Intervención) de la modalidad UNAFA se ejecutaba de esta manera: primero se realizaba la agrupación arbitraria de las 60 familias (2 Clusters de 30 familias por facilitador), posteriormente cada facilitador decidía de manera empírica el orden de sus visitas basándose en la hora del día (ventana de tiempo) que a priori fue brindada por cada familia. Se organizaba un cronograma en un archivo de Excel que les permitía tener un panorama más ordenado de su actividad, pero sin un criterio de agrupamiento y ruteo científico que brindara una ruta óptima, se agrupaban las familias en subgrupos de 6 para realizar el total de las visitas en 5 días, tiempo que a criterio propio se consideraba el adecuado teniendo en cuenta el desplazamiento, los 20 minutos máximos que dura cada visita y que el inicio y el fin de cada recorrido siempre debe ser el centro zonal, para así complementar la jornada laboral. A continuación se muestra el método usado para elaborar el cronograma de visitas de intervención del mes de octubre del año 2019:

Tabla 3. Familias y disponibilidad para atender la visita (Ventana de tiempo):

Facilitador 1.			Facilitador 2.		
Familia	Ventana ini(hora)	Ventana fin(hora)	Familia	Ventana ini(hora)	Ventana fin(hora)
4	7	10	35	7	10
5	7	10	46	7	10
9	7	10	51	7	10
25	7	10	59	7	10
27	7	10	34	8	12
8	8	12	39	8	12
11	8	12	40	8	12
17	8	12	43	8	12
21	8	12	47	8	12
30	8	12	48	8	12
1	10	12	55	8	12
26	10	12	56	8	12
28	10	12	31	10	12
7	12	14	42	10	12

12	12	14	54	10	12
18	12	14	32	12	14
14	12	16	45	12	14
10	12	17	53	12	14
16	12	17	58	12	14
23	12	17	37	12	16
24	12	17	44	12	16
2	14	17	57	12	16
6	14	17	49	12	17
13	14	17	33	14	17
19	14	17	41	14	17
20	14	17	52	14	17
29	14	17	36	15	17
3	15	17	38	15	17
15	15	17	50	15	17
22	15	17	60	15	17

Fuente: Elaboración propia, 2020

Desarrollo del cronograma: Dado que el facilitador 1 contaba con 5 familias cuya disponibilidad era a partir de las 7am (Familia 4, 5, 9, 25 y 27) estas encabezaban los grupos de cada día, y posteriormente se complementaba el cronograma siguiendo en orden de izquierda a derecha los días según las horas de disponibilidad de las familias. De igual manera para el facilitador 2 encabezando los grupos con las familias (35, 46, 51, 59, 34), obteniendo los siguientes cronogramas:

Tabla 2. Cronograma de visitas de intervención

FACILITADOR 1							FACILITADOR 2					
Día	1	2	3	4	5		Día	1	2	3	4	5
Hora	Familia						Hora	Familia				
7:00	4	5	9	25	27		7:00	35	46	51	59	
8:00	8	11	17	21	30		8:00	39	40	43	47	34
9:00							9:00	55	56			48
10:00	1	26	28				10:00			31	42	54
11:00							11:00					
12:00	18	14	10	7	12		12:00	32	45	53	58	37
13:00	24			16	23		13:00	44	57	49		
14:00	20	2	6	13	19		14:00	52			33	41
15:00		29	3	15	22		15:00		36	38	50	60
16:00							16:00					
17:00							17:00					

Fuente: Fundación objeto de estudio, 2020.

De esta manera se tenían los siguientes grupos (clusters) y rutas:

Tabla 3. Cluster

FACILITADOR 1.				FACILITADOR 2.			
Grupo 1				Grupo 1			
Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)	Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)
1	1	1	A	1	1	1	B
1	1	2	4	1	1	2	35
1	1	3	8	1	1	3	39
1	1	4	1	1	1	4	55
1	1	5	14	1	1	5	32
1	1	6	24	1	1	6	44
1	1	7	20	1	1	7	52
1	1	8	A	1	1	8	B
Grupo 2				Grupo 2			
Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)	Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)
2	2	1	A	2	2	1	B
2	2	2	5	2	2	2	46
2	2	3	11	2	2	3	40
2	2	4	26	2	2	4	56
2	2	5	18	2	2	5	45
2	2	6	2	2	2	6	57
2	2	7	29	2	2	7	36
2	2	8	A	2	2	8	B
Grupo 3				Grupo 3			
Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)	Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)
3	3	1	A	3	3	1	B
3	3	2	9	3	3	2	51
3	3	3	17	3	3	3	43
3	3	4	28	3	3	4	31
3	3	5	10	3	3	5	53
3	3	6	6	3	3	6	49
3	3	7	3	3	3	7	38
3	3	8	A	3	3	8	B
Grupo 4				Grupo 4			
Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)	Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)
4	4	1	A	4	4	1	B
4	4	2	25	4	4	2	59
4	4	3	21	4	4	3	47
4	4	4	7	4	4	4	42
4	4	5	16	4	4	5	58
4	4	6	13	4	4	6	33
4	4	7	15	4	4	7	50
4	4	8	A	4	4	8	B
Grupo 5				Grupo 5			
Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)	Día visita	Clúster	Orden de visita	(Nodo/Familia)
5	5	1	A	5	5	1	B
5	5	2	27	5	5	2	34
5	5	3	30	5	5	3	48

5	5	4	12	5	5	4	54
5	5	5	23	5	5	5	37
5	5	6	19	5	5	6	41
5	5	7	22	5	5	7	60
5	5	8	A	5	5	8	B

Fuente: Fundación objeto de estudio, 2020.

Costos logísticos.

Para todas las actividades los facilitadores tienen un presupuesto asignado para las necesidades económicas mensuales que necesitan, en el formato de la tabla 5 se muestra el detalle de las actividades y sus costos por ítem.

Tabla 4. Formato mensual utilizado por un facilitador

PLANEACION FINANCIERA MACRO REGIÓN: RISARALDA 2019			
ACTIVIDADES: CUARTO ENCUENTRO FAMILIAR. VISITAS DE INTERVENCION FAMILIAR, GESTIONES INTERINSTITUCIONALES Y REUNIONES CON ICBF.			
COORDINADOR : Nombre Coordinador Macro región Risaralda			
DESCRIPCION : Realización del cuarto encuentro de familias UNAFA (Pereira, La Virginia y Dosquebradas), realización de 30 visitas de intervención familiar en los Municipios de Pereira, La Virginia y Dosquebradas. Realización de gestiones interinstitucionales y reuniones en la regional y Centros zonales, entre otros asuntos logísticos para la ejecución del proyecto.			
ITEM 1 : TRANSPORTE			
DETALLE	No. De unidades	Valor unidad	Valor Total
Transporte de familias de Pereira para encuentro	21	12.000,00	252.000,00
Transporte de familias de Dosquebradas para encuentro	7	13.000,00	91.000,00
Transporte de familias de La Virginia para encuentro	2	15.000,00	30.000,00
SUBTOTAL			373.000,00
ITEM 2 : LOGISTICA Y MANUTENCION			
DETALLE	No. De unidades	Valor Unidad	Valor Total
Almuerzos facilitadora	15	10.000,00	150.000,00
Desayunos o Refrigerios Facilitadora	15	5.000,00	75.000,00
Realización de 30 visitas por facilitador en los municipios de Pereira, La Virginia y Dosquebradas	30	25.000,00	750.000,00
Cuarto encuentro con 30 familias en el salón del ciudadano de Pereira, Hora: 2:00 pm. Día: 25 de julio.	30	5.000,00	150.000,00
SUBTOTAL			1.125.000,00

ITEM 3 : PAPELERIA, MATERIALES E INSUMOS			
DETALLE	No. De unidades	Valor unidad	Valor Total
Copias de formatos de actas de visitas, listados de asistencia, actas de reunión y encuestas de satisfacción, entre otros	100	300	30.000,00
SUBTOTAL			30.000,00
ITEM 4: EQUIPOS			
DETALLE	No. De unidades	Valor unidad	Valor Total
			0
SUBTOTAL			0
ITEM 5 : OTROS			
DETALLE	No. De unidades	Valor unidad	Valor Total
Plan Datos y voz	1	30.000,00	30.000,00
			0
SUBTOTAL			30.000
Total presupuesto solicitado	1.558.000		
Fecha de la solicitud:	25/06/2019		
Nombre de facilitador que solicita:	Facilitadora 1 regional Macro region Risaralda		
Nombre de coordinador que aprueba:	Nombre Coordinador Macro región Risaralda		

Fuente: Fundación objeto de estudio, 2020.

Nota: Todo costo por ítem debe ser justificado (con facturas y recibos de caja menor etc.), de lo contrario el dinero restante debe ser devuelto a la fundación caso estudio.

En el Ítem 2 (Logística y manutención) Casilla 3 (Realización de 30 visitas de intervención por facilitador en los municipios de Pereira, La Virginia y Dosquebradas) es donde se desarrollará la propuesta del modelo buscando optimizar los costos de transporte encontrando el modelo óptimo de ruteo.

El costo de transporte que usan los facilitadores actualmente (Servicio privado) en la ciudad de Pereira se basa en la tarifa brindada por Asetup (Empresas de Taxis de Pereira) que es de \$4.300 pesos como tarifa básica aumentando \$110 pesos cada 80 metros recorridos o cada 70 segundos de espera, en este sentido los facilitadores operan solicitando un servicio que los movilice de una visita a otra, donde el conductor espera la ejecución de la visita, tiempo que es pagado según la tarifa de Asetup.

Para poder realizar una correcta cuantificación del costo actual de transporte se realizó una matriz de 62x62 (3488 interacciones) donde se mide la distancia euclidiana entre cada uno de los nodos (familias y centros zonales) y se realizó un cálculo usando un

factor de distancia de 1,57, asumiendo una velocidad promedio de 13km/h para la ciudad de Pereira según el estudio “Sistemas de Ciudades” del Banco Mundial y el Departamento Nacional de Planeación (Samad, 2012).

La tabla 6 muestra el diagnóstico actual de transporte en términos de costo:

Diagnóstico actual costos de transporte

- **Orden visita:** Secuencia del ruteo
- **Nodo/Familia:** Número de la familia / Centro zonal según la matriz de distancias.
- **Distancia Recorrida:** Distancia de un nodo a otro (km)
- **Distancia acumulada Recorrida:** Distancia acumulada del recorrido en cada nodo(km)
- **V ini min:** Ventana de tiempo inicial en minutos de cada (nodo)
- **V fin min:** Ventana de tiempo final en minutos de cada (nodo)
- **Tiempo recorrido:** tiempo en recorrer la distancia de un nodo a otro a una velocidad de 13km/h
- **Comienzo de servicio:** hora en minutos en que comienza cada visita de intervención.
- **Tiempo por visita:** Tiempo que demora cada visita (valor promedio de 20 min)
- **Tiempo de espera:** Tiempo a pagar al servicio de transporte contratado por llegar a cada Nodo antes de la ventana de tiempo inicial.
-

Tabla 5. Diagnóstico actual costos de transporte Facilitador 1.

Grupo 1									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recorrido	comienzo servicio	tiempo por visita	tiempo espera
1	A	0	0	420	1020	0,0	420,0		
2	4	3,09	3,09	420	600	14,3	434,3	20	0,0
3	8	1,34	4,43	480	720	6,2	460,4	20	19,6
4	1	2,98	7,41	600	720	13,8	513,8	20	86,2
5	14	14,12	21,53	720	960	65,2	685,2	20	34,8
6	24	25,8	47,33	720	1020	119,1	859,1	20	0,0
7	20	7,45	54,78	840	1020	34,4	913,5	20	0,0
8	A	17,24	<u>38,77</u>	420	1020	0	420		<u>140,6</u>
Grupo 2									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recor	hora al llegar	tiempo por visita	tiempo espera
1	A	0	0	420	1020	0,0	420,0		

2	5	5,63	5,63	420	600	26,0	446,0	20	0,0
3	11	8	13,63	480	720	36,9	502,9	20	0,0
4	26	7,55	21,18	600	720	34,8	557,8	20	42,2
5	18	36,93	58,11	720	840	170,4	790,4	20	0,0
6	2	33,08	91,19	840	1020	152,7	963,1	20	0,0
7	29	2,55	93,74	840	1020	11,8	994,9	20	0,0
8	A	33,64	<u>91,75</u>	420	1020	0	420		<u>42,2</u>
Grupo 3									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recor	hora al llegar	tiempo por visita	tiempo espera
1	A	0	0	420	1020	0,0	420,0		
2	9	1,75	1,75	420	600	8,1	428,1	20	0,0
3	17	34,77	36,52	480	720	160,5	608,6	20	0,0
4	28	33,26	69,78	600	720	153,5	782,1	20	0,0
5	10	1,24	71,02	720	1020	5,7	807,8	20	0,0
6	6	3,32	74,34	840	1020	15,3	843,1	20	0,0
7	3	3,03	77,37	900	1020	14,0	877,1	20	22,9
8	A	6,42	<u>77,44</u>	420	1020	0	420		<u>22,9</u>
Grupo 4									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recor	hora al llegar	tiempo por visita	tiempo espera
1	A	0	0	420	1020	0,0	420,0		
2	25	5,21	5,21	420	600	24,0	444,0	20	0,0
3	21	9,37	14,58	480	720	43,2	507,3	20	0,0
4	7	9,93	24,51	720	840	45,8	573,1	20	146,9
5	16	12,33	36,84	720	1020	56,9	796,9	20	0,0
6	13	13,07	49,91	840	1020	60,3	877,2	20	0,0
7	15	12,54	62,45	900	1020	57,9	955,1	20	0,0
8	A	6,23	<u>43,07</u>	420	1020	0	420		<u>146,9</u>
Grupo 5									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recor	hora al llegar	tiempo por visita	tiempo espera
1	A	0	0	420	1020	0,0	420,0		
2	27	4,84	4,84	420	600	22,3	442,3	20	0,0
3	30	6,38	11,22	480	720	29,4	491,8	20	0,0
4	12	18,47	29,69	720	840	85,2	597,0	20	123,0
5	23	7,45	37,14	720	1020	34,4	774,4	20	0,0
6	19	6,5	43,64	840	1020	30,0	824,4	20	15,6
7	22	9,51	53,15	900	1020	43,9	903,9	20	0,0

8	A	4,19	<u>41,33</u>	420	1020	0	420		<u>138,6</u>
---	---	------	--------------	-----	------	---	-----	--	--------------

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 6. Diagnostico actual costos de transporte Facilitador 2.

Grupo 1									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recorrido	comienzo servicio	tiempo por visita	tiempo espera
1	B	0	0	420	1020	0,0	420,0		
2	35	3,55	3,55	420	600	16,4	436,4	20	0,0
3	39	3,97	7,52	480	720	18,3	474,7	20	5,3
4	55	3,52	11,04	480	720	16,2	516,2	20	0,0
5	32	6,76	17,8	720	840	31,2	567,4	20	152,6
6	44	8,7	26,5	720	960	40,2	780,2	20	0,0
7	52	7,68	34,18	840	1020	35,4	835,6	20	4,4
8	B	3,23	21,03	420	1020	0	420		<u>162,2</u>
Grupo 2									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recorrido	comienzo servicio	tiempo por visita	tiempo espera
1	B	0	0	420	1020	0,0	420,0		
2	46	3,38	3,38	420	600	15,6	435,6	20	0,0
3	40	5,55	8,93	480	720	25,6	481,2	20	0,0
4	56	12,76	21,69	480	720	58,9	560,1	20	0,0
5	45	8,87	30,56	720	840	40,9	621,0	20	99,0
6	57	10,69	41,25	720	960	49,3	789,3	20	0,0
7	36	8,83	50,08	900	1020	40,8	850,1	20	49,9
8	B	6,16	36,72	420	1020	0	420		<u>148,9</u>
Grupo 3									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recorrido	comienzo servicio	tiempo por visita	tiempo espera
1	B	0	0	420	1020	0,0	420,0		
2	51	8,03	8,03	420	600	37,1	457,1	20	0,0
3	43	11,04	19,07	480	720	51,0	528,0	20	0,0
4	31	1,65	20,72	600	720	7,6	555,6	20	44,4
5	53	7,33	28,05	720	840	33,8	653,8	20	66,2
6	49	6,86	34,91	720	1020	31,7	771,7	20	0,0
7	38	12,85	47,76	900	1020	59,3	851,0	20	49,0
8	B	4,4	32,45	420	1020	0	420		<u>159,6</u>

Grupo 4									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recorrido	comienzo servicio	tiempo por visita	tiempo espera
1	B	0	0	420	1020	0,0	420,0		
2	59	3,65	3,65	420	600	16,8	436,8	20	0,0
3	47	16,62	20,27	480	720	76,7	533,6	20	0,0
4	42	17,37	37,64	600	720	80,2	633,7	20	0,0
5	58	12,28	49,92	720	840	56,7	710,4	20	9,6
6	33	13,8	63,72	840	1020	63,7	803,7	20	36,3
7	50	18,49	82,21	900	1020	85,3	945,3	20	0,0
8	B	9,46	59,38	420	1020	0	420		<u>45,9</u>
Grupo 5									
Orden de visita	(Nodo/Familia)	Distancia Recorrida	Distancia Rec Acum	v ini min	v fin min	tiempo recorrido	comienzo servicio	tiempo por visita	tiempo espera
1	B	0	0	420	1020	0,0	420,0		
2	34	4,21	4,21	480	720	19,4	439,4	20	40,6
3	48	7,76	11,97	480	720	35,8	535,8	20	0,0
4	54	3,16	15,13	600	720	14,6	570,4	20	29,6
5	37	10	25,13	720	960	46,2	666,2	20	53,8
6	41	2	27,13	840	1020	9,2	749,2	20	90,8
7	60	12,01	39,14	900	1020	55,4	915,4	20	0,0
8	B	5,68	30,81	420	1020	0	420		<u>214,8</u>

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 7. Diagnóstico costo actual de transporte:

	facilitador 1	facilitador 2	total
Recorrido(km)	292,36	180,39	472,75
Tiempo espera (min)	491,25	731,37	1222,62
Costo de recorrido	\$401.995,0	\$248.036,3	\$650.031,3
Costo tiempo espera	\$46.317,5	\$ 68.957,7	\$115.275,2
Costo t espera cada visita(fijo)	\$56.571,4	\$56.571,4	\$113.142,9
Total mes	\$504.883,9	\$373.565,3	\$878.449,3
Total costo transporte etapa intervencion (7 meses)	\$3.534.187,5	\$2.614.957,4	\$6.149.144,9

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Las personas que intervienen en el proceso de las visitas de intervención son:

- Facilitador
- Conductor vehículo (Servicio privado)

- Vivienda (familia del niño con discapacidad)
- Coordinador de macro región (a él se le entregan los informes mensuales)

Las cuales desempeñan un papel en conjunto para permitir que el proceso de intervención se pueda realizar sin ningún problema. Teniendo esto presente, se evidencia las falencias que existen en el proceso, como la toma de la decisión es basada en experiencias personales y juicios sesgados generan costos excesivos y tiempos altos de respuesta que repercuten en la calidad de la información obtenida en las visitas de intervención.

3 PROPUESTA DEL MODELO MATEMÁTICO

Teniendo presente el diagnóstico, se evidencia la necesidad de definir adecuadamente un sistema de asignación y selección de rutas. Para que el desarrollo de los componentes de la intervención se dé de manera simultánea, dinámica y complementaria de acuerdo con las necesidades, intereses y potencialidades de las familias, su proceso evolutivo, y los contextos sociales o comunitarios donde estas se desenvuelven. En este capítulo se realiza la formulación del modelo matemático que acopia todas las particularidades del Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo.

3.1 FORMULACIÓN

Se formula un modelo de programación lineal entera mixta de dos fases para solucionar el problema de asignación de las familias y que además establezca la secuenciación de ruta a cada uno de los facilitadores para disminuir el tiempo en ruta y los costos totales de transporte en una fundación objeto de estudio que opera el programa UNafa de ICBF. Conociendo así las distancias de recorrido mínimas, los tiempos de desplazamiento y el costo relacionado con el transporte a cada uno de los nodos asignados teniendo presente los límites de los facilitadores en cuanto a la cantidad de familias a intervenir y el periodo de tiempo que tienen disponibilidad de recibir la visita las familias.

Se formulará un modelo matemático, donde se utilizara lenguaje de programación matemática AMPL, el cual está dirigido a la construcción y resolución de modelos de optimización, fundamentalmente modelos de Programación Lineal, Programación Entera y Programación No Lineal. una vez definido un modelo en AMPL puede especificarse el cómo queremos resolverlo, lo que permite el diseño de muchos tipos de algoritmos. Simultáneamente, resolviéndose en el Solver Neos, resaltando que existen una variedad muy grande de solvers que pueden ser llamados desde AMPL (algunos de dominio público), lo que da una gran potencia y versatilidad al programa.

3.2 SUPUESTOS Y PARÁMETROS DEL MODELO

Se resalta previamente que:

- La distancia está en kilómetros con distancias euclidianas las cuales son distancias simétricas
- El costo total es el resultado de la multiplicación de la distancia a recorrer por el costo por km (1375) de transporte de los facilitadores más el tiempo de espera.
- Las ventanas de tiempo se hallaron consultando la disponibilidad de las 60 familias relacionadas con la investigación.
- El tiempo se realiza teniendo en cuenta la distancia a recorrer y la velocidad. Este tiempo hallado utilizando la velocidad de desplazamiento promedio de la ciudad de Pereira que es de proyectado al año presente de 13 km/h Según el estudio “Sistemas de Ciudades” del Banco Mundial y el Departamento Nacional de Planeación (Samad, 2012).

Así mismo se presentan los costos de transporte y otros valores relacionados con la matriz de distancias. Teniendo la premisa de que se cambiará el prestador del servicio por uno privado se tienen los siguientes costos:

Tabla 8. Valores y supuestos

ITEM	VALOR
Costo [\$ /km]	\$1.375
Promedio tiempo intervención [min]	20
Factor de distancia [adimensional]	1,57
Periodo laboral del personal [horas]	8
Cantidad de visitas necesarias por día [uni]	10
Duración del mes [días]	30
Tiempo de desplazamiento [Min/km]	4,61

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los modelos AMPL están compuestos por distintos elementos. Estos elementos están compuestos por conjuntos, variables de decisión, parámetros, restricciones y objetivos, que se presentan a continuación:

3.3 ASIGNACIÓN (MILP)

El inconveniente de asignación debe su nombre a la función de fijar hombres a trabajos (trabajos a máquinas, o fardos en un moderador en su variación del conflicto de la mochila). Esta retribución se hará con la condición de que todo individuo puede ser determinado exclusivamente a un trabajo y que toda operación sólo tendrá asignada una persona. Los problemas de asignación presentan una ordenación y un progreso de resolución muy parecido a los de transporte, sino con dos diferencias: asocian una cantidad semejante de nodos origen con igual número de nodos de solicitud; el precio de oferta en cada nodo origen es de valor uno, como lo es la petición en cada nodo destino. (Kuhn, 1995)

Para el problema de asignación se determinó la cantidad mínima de rutas que se debían realizar teniendo por decisión la fundación. Donde como meta se debían atender 10 familias por día por cada facilitador

Se define la función objetivo donde se relaciona el costo de transporte siendo este la distancia recorrida multiplicada por el costo de recorrerla.

Conjuntos:

Conjunto de facilitadores asociados al subíndice j Donde se definen la cantidad de facilitadores a requerir

$$FAC = \{j | j \text{ es un facilitador}\}$$

$$FAC = \{j_1, j_2, j_3, j_4, j_5 \dots \dots \dots j_n\}$$

Conjunto de familias asociadas al subíndice

$$FAM = \{k | k \text{ es una familia}\}$$

$$CLI = \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 \dots \dots \dots kn\}$$

Parámetros:

Costo del transporte j (\$/km*uni)

$$COSTO_j \{j \in FAC\} \geq 0$$

Distancia de sede del facilitador j a la familia k (km)

$$D_j \{j \in FAC, k \in FAM\} \geq 0$$

Demanda de la familia k (uni). Donde se define que solo puede existir una única intervención mensual

$$DEMANDA_k \{k \in FAM\} \geq 0$$

Capacidad de visita del facilitador j (uni). Donde se define la cantidad de familias que puede visitar cada facilitador

$$CAP_j \{j \in FAC\} \geq 0$$

Variables de decisión:

cantidad de visitas del facilitador j a las familias k

$$X_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{si se realiza la visita del facilitador } j \text{ a la familia } k \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases} \forall (j, k),$$

$j \in FAC, k \in FAM$

Restricciones

El modelo matemático se soluciona bajo una serie de limitantes o restricciones las cuales definen un universo de posibles soluciones de acuerdo a lo que se espera obtener en los resultados.

1. Restricción donde la cantidad de visitas realizadas debe ser igual a la esperada por cada una de las familias

$$\sum_{(j,k) j \in FAC, k \in FAM} FAC_j X_{jk} = DEMANDA_K$$

2. Restricción de capacidad donde la suma total de las visitas no debe sobrepasar la capacidad de atención del facilitador

$$\sum_{(j,k) j \in FAC, k \in FAM} FAM_K X_{jk} \leq CAP_j$$

Función Objetivo:

$$Z_{min} = \sum_{(j,k) j \in FAC, k \in FAM} X_{jk} * COSTO_j * D_{jk}$$

3.4 ENRUTAMIENTO (VRPTW + MTZ)

Ya teniendo presente cuales familias están definidas para cada una de las sedes, se define desde la segunda fase de la herramienta de optimización el modelo matemático que permita ofrecer la secuencia adecuada que permita dar una solución dentro de posibilidades respetando los requerimientos, limitantes y disponibilidad de las familias.

A continuación se presentan los conjuntos, variables y parámetros relacionados con el problema de enrutamiento:

Conjuntos

V : Conjunto de NODOS para cada sede

$$V = \{1, \dots, n\}$$

A : Conjunto de ARCOS para cada sede

$$A = \{(i, j), i \in V, j \in V, i \neq j\}$$

VS : conjunto de visitantes

$$VS = \{1, \dots, n\}$$

Parámetros

$DISP$: Disponibilidad de tiempo de cada visitador al día $\{min\}$

$TDES$: Tiempo de desplazamiento promedio por km de los visitantes $\{\frac{min}{km}\}$

TS : Tiempo de servicio maximo dado a la familia $\{min\}$

N : Parámetro ficticio para usar en restricciones de rompimiento de sub-rutas

M : Parámetro ficticio el cual representa un número muy grande

a_i : Tiempo más temprano posible del Nodo i

$$a_i = a_1, \dots, a_n, \quad \forall i \in V$$

b_i : Tiempo más tardío posible del Nodo i

$$b_i = b_1, \dots, b_n \quad \forall i \in V$$

D_{ij} : Distancia entre el nodo i y el nodo j $\{km\}$

$$D_{ij} = D_{11}, \dots, D_{nk} \quad \forall (i, j) \in A$$

Variables de decisión

X_{ij} : Variable binaria

$X_{ij} = \{1, \text{ si el arco entre el nodo } (i, j) \text{ es recorrido, } 0 \text{ de lo contrario}\}$

$$\forall (i, j) \in A$$

Z_i : Comienzo del servicio en el nodo i

$$Z_i = Z_1, \dots, Z_n \quad \forall i \in V$$

U_i : Variable ficticia para usar en restricciones de rompimiento de sub-rutas

$$U_i = U_1, \dots, U_n \quad \forall i \in V$$

Función objetivo

$$Z_{min} = \sum_{(i,j) \in A} X_{ij} * D_{ij}$$

Restricciones

El modelo matemático se soluciona bajo una serie de limitantes o restricciones las cuales definen un universo de posibles soluciones de acuerdo a lo que se espera obtener en los resultados

1. Un ingreso por cada nodo

$$\sum_{(i,j) \in A} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in V$$

2. Una salida por cada nodo

$$\sum_{(i,j) \in A} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V$$

3. El tiempo usado por cada visitador no debe superar su tiempo disponible

$$\sum_{(i,j) \in A} X_{ij} * D_{ij} * TDES + TS * (N - 1) \leq DISP$$

Restricciones ventanas de tiempo

4. No se puede iniciar un servicio en j si la familia i no ha sido atendida y el visitador no ha llegado a la familia j

$$Z_i + TS + (D_{ij} * TDES) \leq M(1 - X_{ij}) + Z_j \quad \forall i \in V, j \in V, i \neq j, j \neq 1$$

5. El tiempo inicial de servicio debe ser mayor o igual al tiempo más temprano del nodo i

$$Z_i \geq a_i \quad \forall i \in V, i \neq 1$$

6. El tiempo inicial de servicio debe ser menor o igual al tiempo más tardío del nodo i menos el tiempo de servicio

$$Z_i \leq b_i \quad \forall i \in V, i \neq 1$$

7. La salida de la sede del visitador debe ser mayor o igual al tiempo más temprano posible de la sede

$$Z_i \geq a_1 \quad \forall i \in V$$

8. La llegada a la sede del visitador debe ser menor o igual al tiempo más tardío posible de la sede

$$Z_i \leq b_1 \quad \forall i \in V$$

. Restricciones de rompimiento de sub-rutas:

9. En las ecuaciones se incluyen las restricciones de exclusión de subtours de Miller-Tucker-Zemlin, lo que obliga a que una sola ruta cubra todos los clientes y no dos o más caminos disjuntos cubran colectivamente todos los clientes.

$$U_i - U_j + N * X_{ij} \leq N - 1 \quad \forall (i, j) \in A, i \neq j, i \geq 2, j \geq 2$$

$$U_i \leq N - 1 - (N - 2) * X_{1i} \quad \forall i \in V, i \geq 2$$

4 VALIDACIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Asignación

Para resolver la asignación se utilizó la matriz de distancias creada previamente para la cuantificación del diagnóstico actual, siendo en total 3,844 distancias de la correspondencia de los 62 puntos de interés estos divididos en dos sedes llamadas “centros zonales” y 60 familias distribuidas en Pereira, Dosquebradas y la Virginia. Se necesitan mínimo 6 rutas para asignar los clientes con las solicitudes actuales por lo cual se le confieren 3 rutas a cada uno de los facilitadores. La asignación se realizó con los resultados del solver Neos del modelo previamente mencionado de asignación, este teniéndose en cuenta por las capacidades, necesidades, las distancias y los costos recorridos. Posteriormente se presentan las 6 asignaciones halladas de las familias para las dos sedes:

Tabla 9. Asignación de familias

CENTRO ZONAL ICBF PEREIRA			CENTRO ZONAL ICBF DOSQUEBRADAS		
RUTA 1	RUTA 2	RUTA 3	RUTA 1	RUTA 2	RUTA 3
Familia 20	Familia 4	Familia 1	Familia 24	Familia 12	Familia 3

Familia 31	Familia 15	Familia 2	Familia 29	Familia 16	Familia 5
Familia 35	Familia 18	Familia 6	Familia 33	Familia 17	Familia 7
Familia 38	Familia 19	Familia 8	Familia 40	Familia 21	Familia 10
Familia 39	Familia 23	Familia 9	Familia 42	Familia 22	Familia 11
Familia 43	Familia 32	Familia 13	Familia 45	Familia 27	Familia 14
Familia 46	Familia 36	Familia 25	Familia 49	Familia 30	Familia 28
Familia 51	Familia 48	Familia 26	Familia 56	Familia 37	Familia 50
Familia 55	Familia 53	Familia 34	Familia 58	Familia 41	Familia 52
Familia 57	Familia 60	Familia 44	Familia 59	Familia 47	Familia 54

Fuente: Elaboracion propia, 2020

Posteriormente, se presentan las 6 rutas, presentando además las distancias requeridas para transitar entre nodos, el precio de este transporte y el tiempo necesario para realizar todas las visitas de intervención con todas las familias haciendo uso de la herramienta de optimización.

4.2 Enrutamiento

Para dar una óptima solución a las n rutas definidas por la herramienta de optimización de la primera fase, se hizo uso del “solver” GUROBI del NEOS SERVER y así mismo se hizo uso del lenguaje de programación AMPL .A continuación se presentan las rutas a programar:

Tabla 10. Familias asignadas y su disponibilidad CZ Pereira

RUTA 1	Inicio disponibilidad	Fin disponibilida d	RUTA 2	Inicio disponibilidad	Fin disponibilida d	RUTA 3	Inicio disponibilidad	Fin disponibilida d
Familia 20	840	1020	Familia 4	420	600	Familia 1	600	720
Familia 31	600	720	Familia 15	900	1020	Familia 2	840	1020
Familia 35	420	600	Familia 18	720	840	Familia 6	840	1020
Familia 38	900	1020	Familia 19	840	1020	Familia 8	480	720
Familia 39	480	720	Familia 23	720	1020	Familia 9	420	600
Familia 43	480	720	Familia 32	720	840	Familia 13	840	1020
Familia 46	420	600	Familia 36	900	1020	Familia 25	420	600
Familia 51	420	600	Familia 48	480	720	Familia 26	600	720
Familia 55	480	720	Familia 53	720	840	Familia 34	480	720
Familia 57	720	960	Familia 60	900	1020	Familia 44	720	960

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 11. Familias asignadas y su disponibilidad CZ Dosquebradas

ruta 1	Inicio disponibilida d	Fin disponibilid ad	ruta 2	Inicio disponibilida d	Fin disponibilid ad	ruta 3	Inicio disponibilida d	Fin disponibilid ad
Famili a 24	720	1020	Famili a 12	720	840	Famili a 3	900	1020
Famili a 29	840	1020	Famili a 16	720	1020	Famili a 5	420	600
Famili a 33	840	1020	Famili a 17	480	720	Famili a 7	720	840
Famili a 40	480	720	Famili a 21	480	720	Famili a 10	720	1020
Famili a 42	600	720	Famili a 22	900	1020	Famili a 11	480	720
Famili a 45	720	840	Famili a 27	420	600	Famili a 14	720	960
Famili a 49	720	1020	Famili a 30	480	720	Famili a 28	600	720
Famili a 56	480	720	Famili a 37	720	960	Famili a 50	900	1020
Famili a 58	720	840	Famili a 41	840	1020	Famili a 52	840	1020
Famili a 59	420	600	Famili a 47	480	720	Famili a 54	600	720

Fuente: Elaboracion propia, 2020.

Teniendo estas restricciones presentes se hace uso de la herramienta de optimización propuesta en la segunda fase para así dar a conocer cuál es la secuencia adecuada. Se presentan así la forma adecuada que deben realizar los facilitadores para realizar las visitas de intervención que permita la fluidez del proceso y se disminuyan los tiempos y los costos de la logística de transporte. Como método de validación del modelo se verifica que todas las ventanas de tiempo fueron respetadas en las 60 familias a realizar la visita de intervención. Lo que permite conocer que el modelo matemático arroja una solución óptima que genera ahorros y respeta las restricciones planteadas, esto se presenta a continuación:

Tabla 12. Información rutas asociadas CZ Pereira

CENTRO ZONAL PEREIRA			
	ruta 1	ruta 2	ruta 3
Distancia recorrida [Km]	47,5	88,1	48,1
Tiempo de actividad [Min]	418,8	430	421,6
Costo de la ruta [\$]	\$ 65.312,50	\$ 121.137,50	\$ 66.137,50
Costo tiempo espera fijo visita(20min)	\$ 18.857,10	\$ 18.857,10	\$ 18.857,10
Tiempo de espera [Min]	117,4	202,8	131,7
Costo tiempo de espera [Min]	\$ 11.066,24	\$ 19.116,79	\$ 12.413,80
Costo total transporte	\$ 95.235,84	\$ 159.111,39	\$ 97.408,40

COSTO TOTAL	\$ 351.755,64
--------------------	----------------------

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 13. Resultados secuencia visitas CZ Pereira.

Nodo	Secuencia	Comienzo de servicio	Nodo	Secuencia	Comienzo de servicio	Nodo	Secuencia	Comienzo de servicio
Centro zonal pereira	1	420.0	Centro zonal pereira	1	420	Centro zonal pereira	1	420.0
Familia 51	2	453.7	Familia 4	2	453.1	Familia 25	2	464
Familia 55	3	494.7	Familia 48	3	480	Familia 9	3	515.7
Familia 46	4	517.2	Familia 53	4	720	Familia 34	4	571.4
Familia 39	5	551.2	Familia 32	5	751.7	Familia 26	5	624.1
Familia 35	6	589.5	Familia 18	6	834.5	Familia 8	6	667.8
Familia 31	7	610.9	Familia 60	7	902	Familia 1	7	701.5
Familia 43	8	638.5	Familia 23	8	937	Familia 2	8	840
Familia 57	9	793.4	Familia 15	9	970.3	Familia 13	9	881.9
Familia 38	10	900.0	Familia 36	10	994.6	Familia 6	10	925.4
Familia 20	11	948.2	Familia 19	11	1020	Familia 44	11	958.0

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 14. Información rutas asociadas CZ Dosquebradas

CENTRO ZONAL DOSQUEBRADAS			
	ruta 4	ruta 5	ruta 6
Distancia recorrida [Km]	74	105,3	65,9
Tiempo de actividad [Min]	476.3	469.6	437.9
Costo de la ruta [\$]	\$ 101.750,00	\$ 144.787,50	\$ 90.612,50
Costo tiempo espera fijo visita(20min)	\$ 18.857,10	\$ 18.857,10	\$ 18.857,10
Tiempo de espera [Min]	94,4	0,0	111,8
Costo tiempo de espera [Min]	\$ 8.896,22	\$ 0,00	\$ 10.538,24
Costo total transporte	\$ 129.503,32	\$ 163.644,60	\$ 120.007,84
COSTO TOTAL	\$ 413.155,76		

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 15. Resultados secuencia visitas CZ Dosquebradas

Nodo	Secuencia	Comienzo de	Nodo	Secuencia	Comienzo de	Nodo	Secuencia	Comienzo de
------	-----------	-------------	------	-----------	-------------	------	-----------	-------------

a servicio			a servicio			a servicio		
Centro zonal dosquebradas	1	420.0	Centro zonal dosquebradas	1	420.0	Centro zonal dosquebradas	1	420.0
Familia 59	2	453.2	Familia 27	2	443.5	Familia 5	2	448.5
Familia 42	3	600.0	Familia 30	3	480.0	Familia 54	3	600.0
Familia 40	4	627.9	Familia 21	4	509.9	Familia 11	4	642.8
Familia 56	5	699.6	Familia 17	5	584.6	Familia 28	5	690.2
Familia 49	6	720.0	Familia 47	6	652.2	Familia 7	6	720.0
Familia 45	7	772.4	Familia 12	7	720.0	Familia 14	7	783.4
Familia 58	8	839.6	Familia 16	8	764.7	Familia 50	8	900.0
Familia 29	9	883.1	Familia 22	9	900.0	Familia 52	9	951.0
Familia 33	10	966.7	Familia 37	10	921.0	Familia 10	10	978.0
Familia 24	11	1020.0	Familia 41	11	944.2	Familia 3	11	1000.6

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 16. Información y resultados costos de transporte con modelación

ITEM	VALOR
Distancia total de visitas de intervención [Km]	428,9
Tiempo total de espera [Min]	657,9
Costo total recorrido [Min]	\$ 589.737,50
Costo total espera fijo visita (20min)	\$ 113.142,60
Costo total espera	\$ 62.031
Días usados para la intervención [Días]	3
Costo total transporte mes	\$ 764.911,40
Costo total etapa intervención	\$ 5.354.379,80

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura.3 Comparativo diagnostico vs modelo

ítems	diagnostico	modelo	mejora
recorrido(km)	472,75	428,9	9,28%
tiempo espera (min)	1222,62	657,9	46,19%
Costo de recorrido	\$ 650.031,3	\$ 589.737,5	
costo tiempo espera	\$ 115.275,2	\$ 62.031,0	
Costo t espera cada visita(fijo)	\$ 113.142,9	\$ 113.142,9	
Total mes	\$ 878.449,3	\$ 764.911,40	12,92%
Total costo transporte etapa intervención (7 meses)	\$ 6.149.144,9	\$ 5.354.379,80	
Días usados para la intervención [Días]	5	3	40%

Fuente: Elaboracion propia, 2020.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el diagnóstico, existe necesidad que se evidencio en cuanto al proceso de asignación y selección de rutas donde se conoció que se realiza actualmente de forma empírica, esto provocando tiempos altos de planeación, realización y respuesta de los análisis además de unos costos altos en logística de transporte. Lo que genera una necesidad prioritaria de hacer uso de una herramienta de optimización de recursos para los facilitadores y por ende para la fundación operadora del proyecto proponiendo así un modelo de asignación y secuenciación de ruta para las visitas de intervención domiciliarias para darle una solución a la problemática. Esto debido a que para dichas visitas de intervención no existe una asignación optima ni una ruta en la que se indique a cuales familias es más eficiente asistir.

Con el fin de aumentar la eficiencia en la utilización de los recursos, teniendo en cuenta la naturaleza de la problemática, sus capacidades y restricciones. Este trabajo de investigación desarrolló una metodología de solución para resolver el problema de ruteo de vehículos de dos fases, en la primera un modelo matemático entero mixto para la asignación y posteriormente un ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW). En el modelo se tienen en cuenta los horarios específicos de recepción de la visita domiciliaria. Así, es posible encontrar una planeación de rutas donde se reducen costos de recorrido y se aumenta el nivel de servicio por visitas de intervención porque, primero las familias siempre estarán disponible y segundo no se va a incumplir con ninguna cita previamente establecida siendo este caso aplicable contexto de la fundación objeto de estudio.

Teniendo presentes los resultados arrojados por el solver se resalta que: se mejoró un 9,2 % en la distancia total recorrida donde se pasó de un recorrido de 472,75 km realizado de manera arbitraria y empírica a un recorrido de 428.9 km apoyados con los nuevos clusters y rutas que arrojo el modelo propuesto siendo así la sistematización matemática quién muestre la mejor solución en un lapso computacional tolerable. Además se obtuvo una mejora del 40% en el tiempo de ejecución de las visitas pues en el escenario inicial los facilitadores consideraban que el tiempo adecuado para realizarlas eran 5 días y se disminuyó a 3 días. Finalmente, se disminuyó significativamente el tiempo de espera en un 46% pasando de esperar 1222,62 minutos a 657.9 equivalente a un ahorro de \$ \$ 53.243,9 para toda la etapa de intervención. Con respecto al ámbito financiero para la iniciativa del proyecto, primero, no se requiere de ninguna inversión. Solo decidir cambiar la manera de obtener una mejor asignación y secuencia de las rutas, En términos generales para toda la etapa de intervención se pasó de un gasto de \$6'149.144,9 pesos a un gasto \$ 5.354.379,8. Generando un ahorro de \$ 794.765 mensual, cumpliendo las ventanas de tiempo y asegurando la atención a todos las familias

RECOMENDACIONES

Debido a la problemática del ruteo de transportes con ventanas de tiempo es de carácter combinatorio, se aconseja establecer heurísticas de perfeccionamiento para los resultados adquiridos en el actual análisis. De igual modo, las soluciones de la herramienta programada pueden aprovechar como soluciones primarias para la implementación de técnicas más avanzadas, como metaheurísticas o técnicas híbridas. La herramienta computacional adquirida se puede utilizar para solucionar problemas del mundo real, por consecutivo es un instrumento que sencillamente sirve en el diseño y progreso de un nuevo software comercial, con lenguajes de programación y estructuras informáticas crecidamente robustas.

Para investigaciones futuras, se recomienda incluir más criterios de inicio de ruta, como la exigencia de visitar a familias con ventanas de tiempo próximas a cerrarse, o la selección de familias que minimice en mayor medida la función objetivo que se defina para el problema.

BIBLIOGRAFIA

Baousis, V., Hadjiefthymiades, S., Alyfantis, G. & Merakos, L. (2009) Enrutamiento agente móvil autónomo para una eficiente asignación de recursos de servidor/ revista de Sistemas y Softwarejournal homepage

Bender, M., Jörg, A. & Níquel, E. (2016). El servicio multi-Período territorio problema de diseño - una introducción, un modelo y un método heurístico/ Contenido disponible en ScienceDirect

Bräysy, O., Wout, P. & Neittaanmäki, P (2009). El potencial de optimización en problemas de enrutamiento comunes:Estudios de caso de Finlandia/ revista Oficial de la geografía del transporte

Bräysy, O., Wout, P. & Neittaanmäki, P. (2009). Un enfoque de optimización para la casa comunal: servicio de entrega de comidas/ Oficial de matemáticas aplicadas y computacional

Casazza, M., Ceselli, A. & Nunkesser, M. (2012) Algoritmos eficientes para el doble problema del vendedor viajero con múltiples paquetes/ Computers & Operations Research

Dohn, A., Rasmussen, M.S. and Larsen, J. (2011), The vehicle routing problem with time windows and temporal dependencies. Networks, 58: 273-289.

Dondo, R. & Cerda, J. (2013). Codificado mixto entero-lineal del eurístico de barrido para el problema de ruteo de vehículos (vrp)

Elloumi, W., El Abed, H., Abraham, A. & Alimi, A. (2014) Un estudio comparativo de la mejora de rendimiento utilizando un SO modificado por ACO aplicado a TSP

Espejo, J. (2016) modelo de simulación basado en agentes para resolver el problema de ruteo en el cuidado de la salud domiciliaria

Gunawan, A., Chuin. H & Vansteenwegen, P. (2016) Orienteering Problema: Una encuesta reciente de variantes, Soluciones y aplicaciones, European Journal of Investigación operativa.

ICBF (2016). Unidades de Apoyo y Fortalecimiento Familiar. Consulta información de trámites, programas y servicios de bienestar

N. Jozefowicz, F. Semet, and E-G. Talbi. (2007) The bi-objective covering tour problem. Computers and Operations Research, 34:1929–1942.

Khanra, A., Maiti, M.K., Maiti, M. 2015) TSP de maximización de los beneficios a través de un algoritmo híbrido, Ordenadores & Ingeniería Industrial.

Kuhn, H. (1955). The hungarian method for the assignment problem. Naval Res. Logistic Quart. 3, 253-258.

Leoncio lizana (2013) vision-empresarial, la distribución y el transporte, revista logística N° 22582

Manene, L. (2016). LOGÍSTICA, DISTRIBUCIÓN FÍSICA Y TRANSPORTE. Artículo Actualidad empresa.

Matias Sevel Tor Justesen Rasmussen, (2012) Cuidados en el hogar el problema de programación de la tripulación: preferencia basada en la agrupación y visitar las dependencias temporales /Revista Europea de Investigación operativa

Muñoz et al.(2009) Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte El Hombre y la Máquina, núm. 32, , pp. 52-67 Universidad Autónoma de Occidente

Ramos, P. (2010) 10 estrategias para bajar costos en transporte. Revista E Logistica. Mexico, D.F.

Salhi, Chandra Ade Irawan (2015). Un método de asignación basado en quadtree para una clase de grandes problemas de ubicación euclidiana discretos/ Computers & Operations Research Soft Computing aplicado

Samad, T. & Bayona, J. (2012) SISTEMA DE CIUDADES Una aproximación visual al caso colombiano. Banco Mundial en colaboración con el Departamento Nacional de Planeacion. Panamericana Formas e Impresos S. A.

Silvia, V. (2000) Clustering aplicado al problema VRP con múltiples depósitos y ventanas de tiempo.

Sun, A Rangarajan, MH Karwan, JM Pinto. Transportation cost allocation on a fixed route. Computers & Industrial Engineering 83, 61-73, 2015. 24, 2015.

Toth, P. & Vigo, D. (2001) The Vehicle Routing Problem

Zaniar Ardalan; Sajad Karimi y Omid Poursabzi, B. Naderi (2014). Un novedoso algoritmo competitiva imperialista generalizada para viajar Vendedor problemas/ artículo en prensa.