



**Problema Logístico de Transporte para la Elaboración de Rutas Médicas Domiciliarias de la
Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe en la Ciudad de Santiago de Cali**

Armando Ruiz Sánchez

Código 20411417958

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Industrial.

Facultad de Ingeniería Industrial

Santiago de Cali, Colombia

2021

**Problema Logístico de Transporte para la Elaboración de Rutas Médicas
Domiciliarias de la Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe en la Ciudad de Santiago de Cali**

Armando Ruiz Sánchez.

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Industrial.

Director (a):

Ingeniera Ingrid Riascos Murillo

Línea de Investigación:

Logística y optimización.

Universidad Antonio Nariño

Programa de Ingeniería Industrial.

Facultad de Ingeniería Industrial.

Santiago de Cali, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado Problema Logístico de Transporte
para la Elaboración de Rutas Médicas Domiciliarias de la
Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe en la Ciudad de Santiago
de Cali, Cumple con los requisitos para optar
Al título de ingeniero Industrial.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Santiago de Cali, 10 de agosto / 2021.

Contenido

| | |
|--|-----------|
| Contenido | 4 |
| Índice de Figuras | 9 |
| Índice de Tablas | 10 |
| Lista de Símbolos y Abreviaturas | 12 |
| Resumen | 16 |
| Abstract | 17 |
| Introducción | 18 |
| Planteamiento del Problema..... | 20 |
| Antecedentes del Problema | 21 |
| Descripción del problema | 22 |
| Formulación del problema ¿De qué manera se pueden mejorar la programación de las rutas médicas domiciliarias de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe en la ciudad de Santiago de Cali? | 24 |
| <i>Sistematización del Problema</i> | 25 |
| ¿Qué manejo se les da actualmente a las rutas médicas de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe?..... | 25 |
| Justificación | 26 |
| Objetivos | 28 |
| Objetivo General | 28 |

| | |
|--|----|
| <i>Objetivos Específicos:</i> | 28 |
| Marco de Referencia | 29 |
| Antecedentes de la Investigación | 29 |
| Atención Domiciliaria en Salud Realizada por Instituciones Prestadoras de Salud en la Ciudad de Bogotá y su Relación con la Atención Primaria en Salud. | 29 |
| <i>Una Solución al Problema de Ruteo de Vehículos Abierto (OVRP), Implementando la Heurística del Vecino más cercano.</i> | 30 |
| <i>Problema para la Asignación de Rutas de Ambulancias de la Empresa HEALTH SOCIETY para la Prestación de Servicios en la Ciudad de Bogotá D.C.</i> | 31 |
| Marco Teórico | 35 |
| Conceptualización y Caracterización del Servicio Médico Domiciliario. | 35 |
| <i>¿Qué es el Servicio Médico Domiciliario?</i> | 35 |
| <i>Actores Involucrados en el Servicio Médico Domiciliario.</i> | 37 |
| <i>Caracterización de la Atención Médica Domiciliaria</i> | 38 |
| Conceptualización Sobre el Servicio Médico Domiciliario. | 40 |
| <i>Parámetros que Componen el Sistema de Ruteo del Servicio Médico Domiciliario.</i> ... | 41 |
| ¿Qué es la Modelación Matemática? | 44 |
| Importancia de la Modelación de los Sistemas de Transporte | 46 |
| Sistemas de Transporte para el Servicio Médico Domiciliario | 49 |
| Importancia de la Logística Dentro de la Cadena de Suministros. | 49 |

| | |
|--|-----------|
| Conceptualización Sobre el Servicio Médico Domiciliario..... | 51 |
| Caracterización del problema de enrutamiento de vehículos - VRP | 53 |
| Conceptualización de la Heurística y la Metaheurísticos:..... | 55 |
| Marco Conceptual | 63 |
| Atención Médica Domiciliaria para la Clínica | 63 |
| Marco Legal y Normativo | 69 |
| Marco Académico..... | 71 |
| Relación con Líneas de Investigación..... | 71 |
| Relación con Misión del Programa..... | 71 |
| Relación con Visión del Programa..... | 71 |
| Relación con Objetivos del Programa | 72 |
| Asignaturas Relacionadas | 72 |
| Competencias Desarrolladas | 72 |
| Marco Contextual..... | 73 |
| Descripción de la Fundación | 73 |
| Ubicación..... | 73 |
| Misión | 73 |
| Visión 2025 | 74 |
| Marco Metodológico | 75 |
| Tipo de Investigación | 75 |

| | |
|--|-----------|
| Diseño Metodológico | 76 |
| Recolección y Análisis de Datos | 78 |
| Desarrollo Metodológico de la Investigación | 78 |
| Manejo Actual de las Rutas Médicas de la Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe | 83 |
| <i>VRP (vehicle routing problem)</i> | 94 |
| Función Objetivo y Principales Variables Críticas Relevantes y las Restricciones que Haciendo Parte del Sistema Logístico de la Clínica, son Fundamentales para Desarrollar la Heurística del Vecino más Cercano en el Problema VRP | 97 |
| La Heurística del Vecino más Cercano | 97 |
| Variables Críticas Relevantes | 98 |
| Fundamentos para Desarrollar el Problema VRP | 102 |
| Diseñar un Problema Matemático que Permita, Solucionar el Problema Clásico de Ruteo (VRP), Utilizando para ello la Heurística del Vecino más Cercano (Paciente)..... | 107 |
| Formulación Matemática | 107 |
| Solución al Ruteo de Vehículos Programados para la Atención Médica Domiciliaria. | 108 |
| Planteamiento VRP con la Heurística del Vecino más Cercano..... | 109 |
| Solución al Ruteo de Vehículos Programados para la Atención Médica Domiciliaria Utilizando la herramienta Solver. | 122 |
| Análisis de la relación Costo Beneficio de la propuesta de ruteo para la Clínica nueva Rafael Uribe Uribe. | 130 |
| Conclusiones y Recomendaciones | 134 |

| | |
|----------------------|-----|
| Conclusiones | 134 |
| Recomendaciones..... | 136 |
| Referencias..... | 138 |
| Bibliografía | 140 |

Índice de Figuras

| | |
|------------------------|----|
| Figura 1 | 24 |
| Figura 2 | 44 |
| Figura 3 | 46 |
| Figura 4 | 50 |
| Figura 5 | 50 |
| Figura 6 | 57 |
| Figura 7 | 84 |
| Figura 8 | 85 |
| Figura 9 | 92 |
| Figura 10 | 94 |
| Figura 11 | 95 |

Índice de Tablas

| | |
|-----------------------|-----|
| Tabla 1 | 41 |
| Tabla 2 | 42 |
| Tabla 3 | 43 |
| Tabla 4 | 74 |
| Tabla 5 | 78 |
| Tabla 6 | 80 |
| Tabla 7 | 81 |
| Tabla 8 | 82 |
| Tabla 9 | 96 |
| Tabla 10 | 105 |
| Tabla 11 | 111 |
| Tabla 12 | 112 |
| Tabla 13 | 114 |
| Tabla 14 | 115 |
| Tabla 15 | 115 |
| Tabla 16 | 117 |
| Tabla 17 | 118 |
| Tabla 18 | 120 |
| Tabla 19 | 121 |
| Tabla 20 | 123 |
| Tabla 21 | 124 |
| Tabla 22 | 125 |

| | |
|-----------------------|-----|
| Tabla 23 | 125 |
| Tabla 24 | 126 |
| Tabla 25 | 126 |
| Tabla 26 | 127 |
| Tabla 27 | 132 |

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

| | |
|--|---|
| <i>TMáx.</i> | <i>Tiempo máximo de la ruta</i> |
| <i>Tmín</i> | <i>Tiempo mínimo de la ruta</i> |
| <i>TV_p</i> | <i>Tiempo de viaje del profesional del nodo i al nodo j</i> |
| <i>TS_p</i> | <i>Tiempo de servicio del profesional al paciente</i> |
| <i>FV_p</i> | <i>Frecuencia de visitas al paciente</i> |
| <i>NM_p</i> | <i>Número de visitas del médico al paciente</i> |
| <i>NT_p</i> | <i>Número de visitas de terapias al paciente</i> |
| <i>TMáxp</i> | <i>Tiempo máximo de atención al paciente</i> |
| <i>Tmínp</i> | <i>Tiempo mínimo de atención al paciente</i> |
| <i>Hi_p</i> | <i>Hora de inicio de atención al paciente</i> |
| <i>HAV</i> | <i>Hora de arribo del vehículo al domicilio del paciente</i> |
| <i>HSV</i> | <i>Hora de salida del vehículo del domicilio del paciente</i> |
| <i>Dmáx</i> | <i>Distancia máxima a recorrer</i> |
| <i>Dmín</i> | <i>Distancia mínima a recorrer</i> |
| <i>DC_p</i> | <i>Distancia clínica al primer paciente</i> |
| <i>DP^x_p^y</i> | <i>Distancia paciente X a paciente Y</i> |
| <i>N</i> | <i>Número de pacientes de la red, ubicados en cada una de las zonas en que se divide la ciudad.</i> |

| | |
|------------------------------|---|
| <i>A</i> | <i>Conjunto de arcos (i, j) en la red, es decir la distancia entre un nodo y otro.</i> |
| <i>C_{ij}</i> | <i>Costo de utilizar el arco (i, j) es decir el de recorrer una distancia entre un nodo y otro.</i> |
| <i>I</i> | <i>Paciente i</i> |
| <i>J</i> | <i>Paciente j</i> |
| <i>X</i> | <i>Pacientes.</i> |

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar este proyecto.

A mis padres y hermanos por su amor y apoyo incondicional.

A mis compañeros de trabajo por su ayuda y contribución a la investigación.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a cada una de las personas e instituciones que hicieron posible que este proyecto se terminara satisfactoriamente.

- A todos mis profesores que con su ayuda y conocimiento intervinieron de alguna manera para que pudiera culminar mi investigación.

- Ingeniera Ingrid Riascos Murillo por su conocimiento en logística, su disposición para guiarme en la consecución de este trabajo y la experiencia con la cual me ayudo a comprender los aspectos relacionados con la tesis.

- Ingeniero Eduardo Quiroz quien siempre estuvo a mi lado enseñándome cada paso para realizar este proyecto.

- A los jurados evaluadores por su aporte al contenido del presente trabajo.

- A la Universidad Antonio Nariño, a su facultad de ingeniería industrial por brindarme la oportunidad de ingresar en sus instalaciones, interesarme y educarme en esta hermosa carrera.

- A la Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe por concederme el espacio para realizar este proyecto.

Resumen

La siguiente propuesta tiene como objetivo diseñar una propuesta para optimizar el recorrido de las rutas médicas domiciliarias de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe en la ciudad de Santiago de Cali, ajustándose al problema de enrutamiento de vehículos VRP, utilizando la Heurística del vecino más cercano para estructurar el problema. El problema se hizo operativo con base en un diseño metodológico que se fundamenta en tres (3) aspectos que le dan sostenibilidad a la investigación: Un enfoque cuantitativo con aspectos de tipo cualitativo y explicativo que permiten identificar las causas que producen los problemas de ruteo en la atención domiciliaria en la clínica nueva Rafael Uribe Uribe. Para lograr un desarrollo equilibrado de la propuesta se plantean para determinar la ruta crítica es decir, la que tenga la menor distancia, utilice el menor tiempo de desplazamiento y tenga por lo tanto el menor costo dos sistemas de solución que permiten desarrollar de manera clara, los objetivo del proyecto, como son: La heurística del vecino más cercano y la herramienta de programación solver con el fin de encontrar la ruta de menor costo y a su vez definir el número de vehículos a utilizar.

Con la propuesta se logró desarrollar un sistema logístico de transporte que permita un servicio de atención domiciliaria fluido, eficaz y acorde con las necesidades de los clientes y los requerimientos de la clínica. De la misma manera la propuesta permite durante el recorrido de las rutas un ahorro de ochenta y ocho (88) minutos para la zona norte, 86 minutos para la zona oriente, 89 minutos para la zona sur, 109 minutos para la zona centro y 92 minutos para la zona occidente; que valorados económicamente son un estímulo para aplicar esta propuesta lo antes posible. **Palabras clave:** programación, atención domiciliaria, pacientes, profesionales de la salud, función objetivo y restricciones.

Abstract

The following proposal aims to design a proposal to optimize the route of the home medical routes of the new Rafael Uribe Uribe clinic in the city of Santiago de Cali, adjusting to the VRP vehicle routing problem, using the Nearest Neighbor Heuristic to structure the problem. The problem became operational based on a methodological design that is based on three (3) aspects that give sustainability to the research: A quantitative approach with qualitative and explanatory aspects that allow identifying the causes that produce routing problems in home care at the new Rafael Uribe Uribe clinic. To achieve a balanced development of the proposal, two solution systems are proposed to determine the critical path, that is, the one that has the shortest distance, uses the shortest travel time and therefore has the lowest cost. The objectives of the project, such as: The nearest neighbor heuristic and the solver programming tool in order to find the least cost route and in turn define the number of vehicles to use.

With the proposal, it was possible to develop a transport logistics system that allows a fluid, efficient home care service in accordance with the needs of the clients and the requirements of the clinic. In the same way, the proposal allows during the route of the routes a saving of eighty-eight (88) minutes for the north zone, 86 minutes for the east zone, 89 minutes for the south zone, 109 minutes for the central zone and 92 minutes to the western zone; that economically valued are a stimulus to apply this proposal as soon as possible. Keywords: programming, home care, patients, health professionals, objective function and restrictions.

Introducción

Con el propósito fundamental de mejorar y fortalecer el acceso a la salud pública de parte de los ciudadanos, sin importar cuál es su condición socio económica, las entidades prestadoras de salud (EPS) y las Instituciones prestadoras de salud (IPS), como es el caso de: Hospitales, Clínicas, entre otras, han desarrollado diferentes problemas de prestación de servicios médicos, entre los cuales se encuentra el denominado “Servicio Médico Domiciliario”, amparado dentro del marco de salud vigente establecido actualmente (MSPS, 2005).

La Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe como institución prestadora de salud (IPS), tiene establecido dentro de su portafolio el Servicio Médico Domiciliario para aquellos pacientes que por su condición patológica no pueden asistir ni desplazarse físicamente a la clínica. Razón por la cual deben ser atendidos directamente en su lugar de residencia, de acuerdo a un horario y una programación establecida. La atención especializada se brinda de acuerdo a la valoración que el médico realice del paciente, la cual puede clasificarse en: terapia física, terapia respiratoria, terapia de fonoaudiología, curaciones de enterostomía, laboratorios, trabajo ocupacional, trabajo social, psicología y nutrición.

En este sentido, la clínica antes nombrada, adelanta la programación de las rutas para las visitas domiciliarias, servicio que no solo tiene que ver con la atención, horarios y disposición de los vehículos que son enrutados a las diferentes zonas en que está dividida la ciudad (norte, sur, centro, oriente y occidente), sino también con las distintas modalidades en salud que requieren los pacientes. Esto significa que un problema que busque mejorar u optimizar la programación del transporte médico domiciliario de la Clínica debe tener en cuenta: zonas de la ciudad, horario de visitas, tipos de atención y número de pacientes involucrados en cada una de estas.

Ahora bien, el crecimiento de la demanda y las distancias a las cuales se encuentran los usuarios, dentro de la ciudad, ha obligado a los directivos de la clínica con la colaboración de un estudiante de último semestre de ingeniería industrial, a realizar un estudio que tenga como propósito el mejoramiento de la programación de las rutas para los vehículos prestadores del servicio médico domiciliario, teniendo en cuenta una función objetivo y unas restricciones establecidas dentro de la misma situación problemática. En este sentido la propuesta se inicia con un diagnóstico de la programación actual en todo su contexto, se proponen unos objetivos a desarrollar, se establece el marco operativo dentro del cual se va a trabajar y, finalmente, se desarrolla el problema matemático que optimiza la programación, evaluándolo económicamente.

Planteamiento del Problema

Este proyecto se adelanta a partir del mes de junio del año 2020, en la Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe ubicada en el municipio de Santiago de Cali, la cual además de prestar todos los servicios propios de una clínica como son: consulta externa de médicos especialistas, urgencias 24 horas, unidades de cuidado intensivo adultos, unidad de endoscopia digestiva, imagenología (Rayos X, ecografía, mamografía, tomografía), fisioterapia y rehabilitación cardíaca y pulmonar, unidad de cuidados coronarios, unidad Integral de oncología, terapia respiratoria, laboratorio médico de referencia, hematología y coagulación, química sanguínea y líquidos corporales, inmunología y endocrinología; presta un servicio de gran importancia, dentro de su portafolio, como es el de la Atención Domiciliaria en la ciudad de Santiago de Cali.

Este servicio que representa un significativo aporte económico para la clínica se fundamenta, en un proceso logístico de movilidad operativa, en cinco (5) vehículos contratados externamente durante un año. Esto es lo que se denomina un contrato a término fijo renovable automáticamente cada año.

Es relevante conocer que cada vehículo utilizado para prestar el servicio de salud a domicilio es programado por el encargado de realizar la programación de las rutas domiciliarias, de acuerdo a las necesidades que se presentan cada día, bien sea de atención médica, de atención terapéutica, de toma de muestras de laboratorio, trabajo social, tratamiento psicológico, nutrición y curaciones. Dentro de este contexto, la utilización de los vehículos para las visitas domiciliarias, se debe tener en cuenta que a un mismo paciente se le efectuará un tipo de consulta bien sea médica, terapéutica, de curaciones, o de toma de muestras (laboratorios).

Por esta razón, es normal que en un vehículo se transporten dos o más trabajadores de diferentes ramas de la salud, por ejemplo, médico y terapeutas, ya que cada uno es programado para prestar el servicio de manera independiente en su campo profesional y de acuerdo a lo acordado con el paciente. No existe una programación establecida para tal fin, lo cual puede ser la causa del desorden que dificulta la prestación del servicio justo a tiempo (just at time).

De manera clara y precisa lo planteado anteriormente significa que en la clínica no existe, dentro del área administrativa, una subárea o sección que permita programar un sistema de transporte para los servicios de salud domiciliario, fluido y eficaz, acorde a la necesidad de los pacientes, así como también, a las competencias y tiempos de los profesionales de la salud y a los requerimientos de la Institución prestadora del servicio.

Actualmente se cuenta con una agenda de más de 570 pacientes para ser visitados en su domicilio mensualmente; se carece de personal administrativo con el conocimiento para organizar las rutas, optimizar el tiempo de recorrido, el desplazamiento entre visitas y que conozca la ciudad.

La entidad no busca contratar un especialista en el tema, por lo que crear una propuesta que pueda ser una solución óptima para ser utilizada por un trabajador de la clínica, que le permita realizar las rutas, los recorridos y establecer la ubicación de los usuarios, faculte mejorar el ritmo de trabajo y cumpla con las metas establecidas de consultas.

Antecedentes del Problema

La agenda de usuarios que solicitan un servicio de salud domiciliaria en la clínica nueva Rafael Uribe Uribe ha tenido un importante crecimiento en el último año, acrecentado en los

últimos seis (6) meses por el surgimiento del Covid-19. Este crecimiento es de tal magnitud que actualmente el número de pacientes domiciliarios es de 570, lo cual ha hecho visibles una serie de falencias o fallas en el sistema de transporte utilizado para llevar los servicios de salud a los beneficiarios, situación que no solo ha afectado directamente la prestación del servicio a los involucrados en el programa, sino que también ha dificultado el trabajo de los profesionales de la salud y por lo tanto la confiabilidad de la clínica en la ciudad de Santiago de Cali.

Ante esta situación el estudiante investigador, autor del proyecto objeto de estudio, con la aprobación de los directivos de la clínica y ante la carencia de personal administrativo en la empresa para adelantar un estudio tendiente al mejoramiento del sistema de transporte , decidió iniciar una propuesta dirigida a la optimización de las rutas médicas domiciliarias en la ciudad de Santiago de Cali, que además de ser de gran importancia para la empresa, le permita al estudiante, como última etapa, graduarse como ingeniero industrial.

Partiendo de esta situación el estudiante inicio la recolección de información sobre los diferentes problemas que presentaba la logística del sistema de transporte y cuáles eran las causas que los ocasionaban. Con base en este esquema de causa-efecto surgió la idea de plantear un proyecto que logrará el mejoramiento (optimización) del sistema de transporte actual, es decir, disminuir las causas que están produciendo los problemas.

Descripción del problema

Ya planteado el problema y explicitados sus antecedentes, es necesario describirlo identificando su verdadera esencia y que falencias o fallas se presentan alrededor de él, analizando las causas, factores o elementos perturbadores que las ocasionan. Así mismo, es

relevante presentar los efectos o consecuencias que se están dando y/o pueden darse hacia el futuro si no se corrigen las causas que producen los problemas.

Entre los principales problemas que se están presentando en el manejo logístico del sistema de transporte se tienen los siguientes:

- Falta de orden en la programación de los vehículos.
- Afectación en el tiempo de servicio del personal de la salud.
- Afectación en el tiempo de atención a los pacientes.
- Pérdida de tiempo en la prioridad de los diferentes servicios.
- Incremento en los costos de ruteo.
- Malestar en los pacientes por la demora en la prestación del servicio.
- Mayor desgaste de los vehículos.
- Disminución en los estándares de calidad de la clínica.
- Detrimento del clima laboral.
- La mayor dificultad que cómo causa está afectando negativamente la

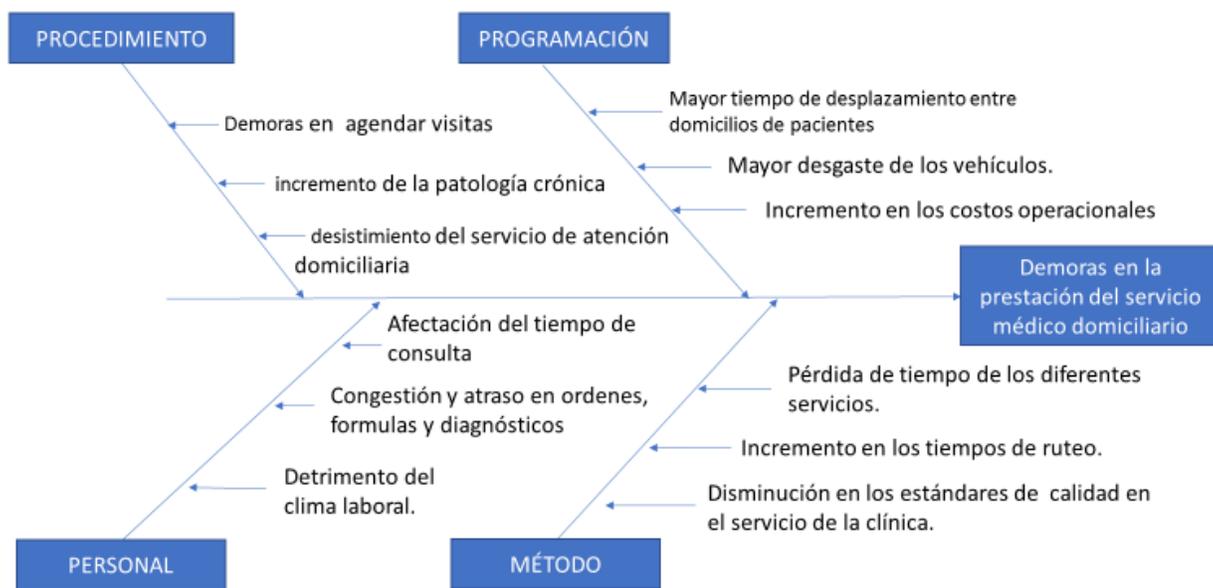
logística de la prestación de servicio médico domiciliario de la clínica, es la falta de un estudio para desarrollar un ruteo que mejore la prestación de este servicio a los distintos pacientes ubicados en las zonas en las cuales se ha dividido la ciudad:

- 1. La zona norte comprende las comunas: 3,4,5 y 6.
- 2. La zona oriente comprende las comunas: 7 ,12,13, 14, 15,16 y 21
- 3. La zona sur comprende las comunas: 17,18,19,20,22.
- 4. La zona centro comprende las comunas: 8, 9,10 y 11
- 5. La zona occidente comprende las comunas: 1, 2 y 4

En el siguiente diagrama de Ishikawa llamado espina de pescado, se presenta tanto el problema principal que afecta la programación de las rutas del servicio domiciliario, como aquellos problemas que impactan su buen funcionamiento.

Figura 1

Diagrama de Ishikawa causas y problemas del servicio médico domiciliario



Nota: Adaptada al Programa de Atención Domiciliaria, 2021, Clínica Nueva Rafael

Uribe Uribe.

Formulación del problema ¿De qué manera se pueden mejorar la programación de las rutas médicas domiciliarias de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe en la ciudad de Santiago de Cali?

Sistematización del Problema

¿Qué manejo se les da actualmente a las rutas médicas de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe?

- ¿Cuál es la función objetivo, las principales variables críticas relevantes y las restricciones que haciendo parte del sistema logístico de la empresa son susceptibles de mejoramiento?
- ¿Qué tipo de problema es el adecuado para optimizar significativamente el manejo logístico de las rutas médicas?

Justificación

Con la realización de este proyecto se busca fundamentalmente brindar a los usuarios un mejor servicio, bien sea con relación al tiempo utilizado en cuanto a la prestación del mismo, así como también con relación a la calidad y atención personalizada que se le debe brindar a cada uno de los pacientes. Esto significa en términos ingenieriles brindar un servicio de calidad médico justo a tiempo (just and time).

Ahora bien, con esta propuesta de optimización de ruteo para el servicio médico domiciliario se pretende privilegiar al usuario como centro de atención del programa, como también brindar una mejor calidad laboral a los otros actores que hacen parte del servicio como son: médicos, enfermeros, terapeutas y otros, dándoles la posibilidad de actuar con rapidez, competencia y especialmente con esmerada atención. La propuesta también, de manera transversal, abre la posibilidad de expandir la agenda de atención a muchos más clientes, utilizando los mismos recursos y el mismo personal sanitario, en esencia mejora la calidad de vida y la gestión laboral de todos los involucrados en el programa. De la misma manera, colateralmente, realza el estatus de la clínica ante los usuarios.

Después de plantear la justificación desde un punto de vista general, es necesario particularizarla con base en los diferentes aspectos que influyen en el entorno del proyecto. Por este motivo, es relevante justificar la propuesta desde los siguientes puntos de vista: teórico, práctico, económico, profesional y académico.

Desde el punto de vista teórico en el proyecto convergen, en su conformación, teorías y conceptos que le dan sostenibilidad al mismo en el campo de la salud, de la ingeniería y de la investigación de operaciones. Estas teorías se pueden dimensionar de la siguiente manera:

Desarrollo de los sistemas de transporte desde el punto de vista de los servicios médicos domiciliarios; la modelación matemática como parte de la aplicación de problemas dirigidos al mejoramiento de un programa de transporte; desarrollo y manejo de los métodos de programación lineal y de los procesos logísticos como parte de la cadena administrativa.

La justificación práctica de la propuesta se fundamenta en que ésta, dependiendo de los resultados, será aplicada en la entidad prestadora del servicio, con el fin de lograr un manejo más eficiente del problema de transporte apropiado para la clínica.

Profesionalmente la propuesta le va a permitir al investigador obtener una mejor praxis profesional, con lo cual desarrollará una mejor competencia profesional, en cualquiera de los campos donde se desempeñe como ingeniero industrial. Así mismo, académicamente el investigador obtendrá mayores y mejores conocimientos sobre temas propios de la carrera de ingeniería industrial como son: programación lineal, optimización, modelación y métodos de transportación. También en el campo económica abordará temas relacionados con la ingeniería económica, como son el cálculo de la relación beneficio costo (B/C).

Para la justificación económica es necesario tener en cuenta dos aspectos que están involucrados en su análisis:

El primero de ellos corresponde a los salarios del personal (profesionales de la salud) involucrado en el sistema de ruteo.

El segundo hace relación con las distancias a recorrer en cada grupo de visitas y los tiempos utilizados para tal efecto (desplazamiento y atención al paciente), es decir, a los gastos operacionales de los vehículos.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una propuesta para mejorar el problema de las rutas médicas domiciliarias de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe en la ciudad de Santiago de Cali, ajustándose al problema de solución clásica VRP, utilizando la Heurística del vecino más cercano para estructurar el problema.

Objetivos Específicos:

- Realizar un diagnóstico de la forma en que se manejan actualmente las rutas médicas domiciliarias de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe.
- Definir la función objetivo, así como las principales variables críticas relevantes y las restricciones que hacen parte del sistema logístico de la clínica las cuales son fundamentales para desarrollar la Heurística del vecino más cercano en el problema VRP.
- Aplicar un programa que mediante el análisis de cálculos matemáticos permita solucionar el problema clásico de ruteo (VRP), utilizando para ello la Heurística del vecino más cercano (paciente).
- Analizar la relación costo beneficio de la propuesta de ruteo para la Clínica nueva Rafael Uribe Uribe.

Marco de Referencia

Antecedentes de la Investigación

Con el propósito de mejorar los conocimientos del estudiante investigador, que adelanta el proyecto objeto de estudio, sobre el tema de los problemas logísticos de transporte, se seleccionaron para su estudio y análisis los siguientes:

Atención Domiciliaria en Salud Realizada por Instituciones Prestadoras de Salud en la Ciudad de Bogotá y su Relación con la Atención Primaria en Salud.

Este proyecto fue realizado por: DIANA ISAURA PIÑARTE SUÁREZ y VICTORIA REINOSO MARTÍNEZ para obtener el título de Magister en administración de la salud de la Universidad Pontificia Javeriana Bogotá 2014.

El objetivo a lograr con este proyecto es el de: “Describir las características de la modalidad de Atención Médica en el Domicilio, los intereses que median su implementación y su relación con la Atención Primaria en Salud en Instituciones Prestadoras de Salud de la ciudad de Bogotá, año 2013.” (Piñarte & Reinoso, 2014, pág. 37)

La investigación se adelanta con base en una metodología donde el tipo de estudio que se lleva a cabo se fundamenta en un enfoque mixto, es decir, cuali-cuantitativo, lo que significa que tiene aspectos cuantitativos de gran importancia dentro del campo de la programación lineal, así como, aspectos cualitativos que le dan validez social y humana a la investigación. (Piñarte & Reinoso, 2014, pág. 39)

Como toda investigación con gran contenido matemático el método que se privilegia es el del análisis en el campo de la programación lineal. De otro lado para lograr desarrollar las formulaciones matemáticas fue necesario obtener información apropiada de las fuentes adecuadas, las cuales corresponden al personal de las IPS y los gestores o coordinadores de la modalidad médica (AMD). La recolección de esta información se logró a través de encuestas y entrevistas, así como de datos procurados de la empresa y manejados en tablas matriciales. (Piñarte & Reinoso, 2014, pág. 40).

Precisamente el aporte de este proyecto al desarrollo de la investigación objeto de estudio, está dada por la manera en que se adelanta el análisis sobre la aplicación que se hace de la programación lineal en el sistema de ruteo, determinando de manera clara las características del servicio médico a domicilio (AMD), cuáles son sus principales ventajas y desventajas y que beneficios trae para los usuarios como para los gestores del servicio.

Una Solución al Problema de Ruteo de Vehículos Abierto (OVRP),

Implementando la Heurística del Vecino más cercano.

Este proyecto fue realizado por: LUIS ERNESTO RAMÍREZ RODRÍGUEZ para obtener el título Especialización en Ingeniería de Producción y Logístico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas 2016.

El objetivo general de esta propuesta es Presentar una alternativa de solución de ruteo de vehículos para las pequeñas y medianas empresas (PYMES) que deben diseñar su distribución como un caso que se ajusta al problema de ruteo de vehículo abierto (OVRP), a partir de la estructuración de la heurística del Vecino más cercano en Visual

Basic. Metodológicamente esta propuesta se fundamenta en un tipo de estudio aplicativo que entrego como resultado, después de aplicar el método del vecino más cercano una alternativa de solución de ruteo de vehículos para las pequeñas y medianas empresas PYMES, que deben diseñar su distribución como un caso que se ajusta al problema de ruteo de vehículos abierto OVRP, con la implementación del algoritmo de Vecino más Cercano en Visual Basic de Excel. (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 7).

La importancia de este proyecto de tesis para el investigador radica en la manera como se desarrolla el problema de optimización con base en la Heurística del vecino más cercano, para determinar el número de vehículos a emplear en el sistema de ruteo y los clientes a transportar teniendo en cuenta la ruta más cercana al origen. Para el investigador el manejo de las tablas matriciales fue un gran aporte para darle claridad a la forma como se adelantaron las diferentes interacciones para llegar a definir la ruta más corta y el tiempo empleado en ella, para de esta manera, registrar el ahorro de tiempo como consecuencia del estudio

Problema para la Asignación de Rutas de Ambulancias de la Empresa HEALTH SOCIETY para la Prestación de Servicios en la Ciudad de Bogotá D.C.

Este proyecto es realizado por: CANDY MELISSA ELEJALDE Y LEILA NAYIBE RAMIREZ para obtener el título de ingeniero industrial de la Universidad Libre Bogotá Colombia 2010.

El objetivo de esta propuesta es la de “asignar a través de un problema matemático rutas de ambulancias que atienden en la ciudad de Bogotá para la empresa HEALTH SOCIETY S.A”. La investigación se adelanta con una metodología que privilegia tanto el método cuantitativo como cualitativo, es decir, se maneja dentro de un

tipo de estudio cuali-cuantitativo. De la misma manera la investigación utiliza el método del análisis como elemento importante para alcanzar el objetivo deseado. (Elejalde & Ramírez, 2010, pág. 3)

Para obtener la información de las personas involucradas en el proyecto se recurre a técnicas tales como: la encuesta y las entrevistas, así como la recolección de datos a través de tablas matriciales. En su aspecto operativo y con base en la metodología aplicada en la propuesta se analizan tres (3) tipos de problemas matemáticos (TSP, algoritmo de Floyd Marshall y CVRP), de los cuales se seleccionó aquel que brinda las mejores ventajas en costos y tiempo, para someterlo a un proceso de simulación que le diera validez dentro de la investigación planteada; sobre este aspecto se encontró que el problema matemático más apropiado para la propuesta era el del agente viajero (TSP). (Elejalde & Ramírez, 2010, pág. 3)

Esta investigación fue de gran importancia para el autor del proyecto, ya que aportó conocimientos acerca de cómo se manejaban las variables y las restricciones y sobre la formulación del algoritmo que representaba la función objetivo. Así mismo, brindó claridad sobre la forma cómo se aplica el TSP, especialmente para situaciones en las cuales sea necesario viajar de una ciudad a otra, a diferencia del proyecto objeto de estudio donde la investigación se adelanta en una misma ciudad y su estructura se fundamenta en un depósito con un recorrido de rutas programadas para regresar al origen. Por esta razón, la forma como se maneja el VRP es otra contribución que adelanta esta tesis al conocimiento del investigador

Propuesta de Ruteo para el Transporte de Dispositivos de Vigilancia Electrónica en Bogotá.

Este trabajo fue realizado por ÁLVARO ESTEBAN FORERO ÁVILA, para optar al título de Ingeniero Industrial de la Universidad Católica de Colombia en el año 2018.

El objetivo fundamental de este proyecto fue el de: “Realizar una propuesta para el problema de ruteo para la distribución, instalación y desinstalación de los dispositivos de vigilancia electrónica utilizados en Bogotá. (Forero Avila, 2018, pág. 23)

La metodología utilizada para desarrollar operativamente el proyecto se fundamenta en un estudio de tipo cuantitativo y a su vez explicativo, ya que además de plantear algoritmos numéricos basados en las variables y las restricciones que se detecten en el problema, busca explicar con base en un problema matemático la relación causa efecto que está ocasionando los problemas de ruteo en la distribución de este tipo de productos.

Localizadas las variables y las restricciones se plantea una propuesta para mejorar las variables, establecerles límites a las restricciones y proponer un problema que permita generar una secuencia óptima en el problema de ruteo para este tipo de productos de vigilancia electrónica.

Aplicación de un Problema de Optimización en la Planeación de Rutas de los Buses Escolares del Colegio Liceo de Cervantes Norte.

Este proyecto fue realizado por: JUAN SEBASTIÁN ARIAS ROJAS, para optar al título de Ingeniero Industrial de la universidad javeriana- Bogotá, en el año 2010.

El propósito de este proyecto de optimización fue el de “Diseñar una propuesta de planeación de rutas para los buses escolares del colegio Liceo de Cervantes Norte a través del desarrollo de un problema de optimización, que permita reducir los costos involucrados y mejorar la eficiencia del proceso”. (Arias Rojas, 2010, pág. 6)

Metodológicamente este problema utiliza un enfoque cuantitativo basado en un método meta-heurístico de optimización por colonia de hormigas (ACO) que parte de unas variables y restricciones que deben ser intervenidas para lograr desarrollar un problema de costo mínimo y un tiempo de servicio apropiado para los padres de familia y para el colegio. Por lo tanto, se pretende mejorar la prestación del servicio y la eficiencia del sistema. (Arias Rojas, 2010, pág. 7)

Entre los resultados del proyecto los más importantes son; se encontró la ruta más posible en cuanto a costos y tiempo para cada una de las rutas de buses. Se determinaron las características de cada una de las variables, para adecuarlas de tal manera que se pudieran adaptar al proyecto dentro de unos costos razonables y un servicio en el tiempo requerido. En definitiva, este fue un proyecto que le brindo al investigador una mayor claridad acerca de la forma en que se debe adelantar un proyecto de optimización y como se deben manejar las variables y las restricciones para apropiarlas al proyecto. (Arias Rojas, 2010, pág. 56)

Marco Teórico

El marco teórico está conformado por dos grandes aspectos que le dan sostenibilidad teórica y operativa a la investigación. De manera específica estos son: el servicio médico domiciliario como objeto de estudio; la programación lineal e investigación de operaciones, en este caso los problemas de transporte y el enfoque administrativo desde el punto de vista del mejoramiento de procesos y el desarrollo de estrategias para la optimización de sistemas logísticos. Dentro de este contexto los temas que hacen parte del marco teórico son:

Conceptualización y Caracterización del Servicio Médico Domiciliario.

¿Qué es el Servicio Médico Domiciliario?

Según el artículo desarrollada por: Restrepo, Echavarría, Manrique, y Valencia.

La organización mundial de la salud, OMS define la hospitalización domiciliaria como: La provisión de servicios de salud por parte de cuidadores formales o informales en el hogar con el fin de promover, restablecer el máximo nivel de confort, funcionalidad y salud, incluyendo cuidados tendientes a dignificar la muerte. (Restrepo , Manrique, Villegas, & Bedoya, 2007, pág. 11)

El sistema de salud actual en Colombia, lleva a que se genere la obligación de establecer herramientas operativas para atender a los diferentes pacientes que de acuerdo a las mediciones de satisfacción en la prestación del servicio en todos sus niveles muestran altos niveles de insatisfacción, como resultados de una serie

de factores multicausales, siendo las largas horas de espera en las distintas unidades de atención los eventos más recurrentes en la calificación del servicio por parte de los usuarios del sistema de salud, por cuanto se ven sometidos a permanecer en espera mucho tiempo, antes de ingresar al consultorio respectivo, este evento se repiten tanto en las entidades públicas como privadas. (Restrepo , Manrique, Villegas, & Bedoya, 2007, pág. 12)

Otras definiciones que conceptualizan de manera clara de lo que es la atención médica domiciliaria son las propuestas por el Doctor Esteban en su libro Guía de buena práctica clínica en atención domiciliaria (2005), plantea las siguientes definiciones:

La atención domiciliaria (AD) se puede definir como un servicio predominantemente sanitario mediante el que se provee asistencia continuada para la resolución domiciliaria de problemas de salud que no requieren hospitalización, dirigida a personas que no se pueden desplazar a un centro hospitalario por impedimentos generalmente de carácter físico. La atención social en domicilio suele tener distinta dependencia, pero debe complementar y coordinarse con la sanitaria. (Sobreviela, Ramírez, & Sánchez, 2005, pág. 9)

De la misma manera, el doctor Esteban (2005) define la atención médica domiciliaria en los siguientes términos:

Conjunto de actividades que surgen del contexto de una planificación previa, desarrollada por los profesionales que integran el equipo multidisciplinario de atención de salud y que tienen como objetivo proporcionar atención de salud, mediante actividades que incluyen contenidos de promoción, protección, curación y rehabilitación dentro de un marco de plena corresponsabilización del usuario y/o

familia con los profesionales del equipo de salud, en el domicilio de aquellas personas que debido a su estado de salud o a otros criterios previamente establecidos por equipo, no pueden desplazarse al atención de centro primario. (Sobreviela, Ramírez, & Sánchez, 2005, pág. 9).

En el caso de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe, el programa de atención domiciliaria nació como una solución para atender pacientes de la nueva eps denominados pluripatológicos, definidos de la siguiente manera:

Pacientes con limitaciones de movilidad, que tenían la necesidad de ser atendidos en casa por profesionales de salud capacitados y con el compromiso de mejorar el estilo de vida de estas personas. El programa en estos dos años ha brindado sus servicios de salud extra hospitalarios buscando mejorar la salud, el bienestar y la calidad de vida de los beneficiarios del servicio.

Actores Involucrados en el Servicio Médico Domiciliario.

El grupo de profesionales que conforman el programa de atención médica domiciliaria en la clínica nueva Rafael Uribe Uribe está compuesto por:

- Cuatro (4) médicos.
- Dos (2) jefas de enfermería.
- Una (1) auxiliar en enfermería con diplomado en laboratorio clínico.
- Tres (3) terapeutas físicos.
- Dos (2) fonoaudiólogas.
- Una (1) terapeuta respiratoria.
- Un (1) terapeuta ocupacional.
- Un (1) psicólogo.

- Una (1) trabajadora social.
- Una (1) nutricionista.
- Una (1) jefa de curaciones (enterostomía) que presta sus servicios al programa, pero no hace parte del grupo.

Este conjunto de profesionales era más extenso en sus orígenes, pero las necesidades de abaratar costos en la atención han ocasionado recortes de personal, igualmente los actores involucrados en el programa han cambiado con el tiempo, pero desde hace un año se ha mantenido vigente.

Caracterización de la Atención Médica Domiciliaria

Las características de la atención médica domiciliaria son principalmente aquellas que propone la Organización Mundial de la Salud OMS, como son:

Proporcionar una atención integral de la persona para satisfacer las necesidades sanitarias a lo largo de su vida, velar por que las personas reciban un tratamiento integral, desde la promoción y la prevención hasta el tratamiento, la rehabilitación y los cuidados paliativos. (OMS, 2019, pág. 1)

se basa en un compromiso con la justicia social, la equidad y en el reconocimiento del derecho fundamental al goce del grado máximo de salud que se pueda lograr, tal como dispone el artículo 25 de la Declaración Universal de Derechos Humanos: «Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios. (OMS, 2019, pág. 1)

optimizar su salud, como promotores de las políticas que fomentan y protegen la salud y el bienestar, como copartícipes en los servicios de salud y sociales, y como cuidadores de sí mismos y de otras personas. (OMS, 2019, pág. 1).

Dentro de este contexto la caracterización del servicio que presta la clínica nueva Rafael Uribe Uribe se fundamenta en aspectos que tienen que ver con:

Brindar al paciente una atención oportuna de calidad de acuerdo al tratamiento que el paciente requiere para su recuperación. En este mismo sentido la clínica se caracteriza por ofrecer a sus pacientes un servicio con equidad basado en el diagnóstico de los médicos y enfocado en el tratamiento de los terapeutas, auxiliares de enfermería, y teniendo presente el manejo psicológico, nutricional y social de la familia que es involucrada en la recuperación y asistencia médica del paciente.

El servicio médico domiciliario es uno de los aspectos de mayor importancia que presta la clínica actualmente. Este servicio ha tenido un crecimiento significativo en la última década, debido a la gran demanda que tiene en aquellas personas que por su condición física y/o mental no pueden trasladarse personalmente a los centros de atención médica. Se espera que este servicio sea un mecanismo de solución, amparo y protección para sus beneficiarios:

- Se efectúa en el domicilio del paciente.
- Lo conforman el enfermo como beneficiario acompañado por cuidadores, que este caso pueden ser familiares, externos contratados con algún tipo de título o personal designado por la misma eps gracias a un requerimiento legal. (tutela).
- Proporciona visita médica, terapias, laboratorios, curaciones, cuidados paliativos, insumos y por la aparición de la pandemia pruebas Covid-19.
- Los profesionales se deben trasladar al domicilio de los pacientes.

- Los involucrados en el proceso de atención al paciente deben contar con los equipos exigidos para el servicio.
- Se busca mejorar la salud del paciente, en el caso crónico o incurable garantizar una vida digna hasta la muerte del individuo.

Las ventajas del programa son:

- Controlar la evolución del enfermo.
- Integrar los cuidados y servicios de atención médica domiciliaria.
- Analizar la demanda y optimizar los recursos de los que se dispone.
- Mayor competitividad entre los profesionales que hacen parte del grupo de trabajo.
- Disminuir los costos generados por la enfermedad del paciente brindándole una atención adecuada.
- Establecer una relación entre médico y paciente que brinde confianza en el beneficiario y familiares.

Conceptualización Sobre el Servicio Médico Domiciliario.

El problema propuesto en la conceptualización y como base del estudio se realiza una tabla de los servicios a los que los pacientes son sometidos con el número de visitas que se requiere al mes para evaluar la condición física del paciente, a través del diagnóstico que se le atribuye se comienza un tratamiento que busca mejorar el estado del usuario.

La siguiente tabla muestra como un paciente puede acceder a varios tipos de servicios. En la parte inferior de la misma, se especifica con letras del alfabeto que profesional lo adelanta y se puede observar que la visita médica (A) y laboratorios (F) son los más comunes entre ellos.

Tabla 1

Atención y Servicio al Paciente.

| Tipo de personal | Número de especialistas | PACIENTES | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|-----------|----|----|---|----|----|-----|----|----|------|----|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Medico | 4 | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| Enfermero | 5 | F | FG | FG | F | FL | LF | FLG | FG | FK | FH | FI | FDBC |
| Terapeuta | 7 | C | C | I | B | DB | EC | CB | D | EF | BCDE | DE | BF |
| Nutricionista | 1 | | | H | | H | | H | | | H | | H |
| Psicólogo | 1 | I | I | | | I | | I | | I | I | I | |
| Trabajador social | 1 | J | | | J | | J | | J | | J | | J |

Nota. Tipo de atención a pacientes programados en ruta de cualquier zona de la ciudad y el tipo de servicio al que pueden acceder.

Tipo de servicio:*A. Médico.**G. Curaciones.**B. Terapia física.**H. Nutrición.**C. Terapia fonoaudiología.**I. Psicología.**D. Terapia respiratoria.**J. Trabajo social.**E. Terapia ocupacional.**K. Insumos.**F. Laboratorios**L. Prueba Covid 19.****Parámetros que Componen el Sistema de Ruteo del Servicio Médico Domiciliario.***

Los parámetros que intervienen en el servicio médico domiciliario son:

Pacientes: se refiere al número de pacientes distribuidos geográficamente, que se atienden en una o varias zonas localizadas para tal efecto. Estos pacientes o personas pueden manejarse en parámetros relativos a coordenadas X y Y.

Tiempo: Se refiere al tiempo transcurrido entre el origen (clínica) de la operación y cada uno de los pacientes, o entre los diferentes pacientes. Este parámetro se caracteriza por la letra T y puede ser:

Tabla 2

Parámetros del Tiempo

| | |
|------------------------------|---|
| <i>TMáx.</i> | <i>Tiempo máximo de la ruta</i> |
| <i>Tmín</i> | <i>Tiempo mínimo de la ruta</i> |
| <i>TV_p</i> | <i>Tiempo de viaje del profesional del nodo i al nodo j</i> |
| <i>TS_p</i> | <i>Tiempo de servicio del profesional al paciente</i> |
| <i>FV_p</i> | <i>Frecuencia de visitas al paciente</i> |
| <i>NM_p</i> | <i>Número de visitas del médico al paciente</i> |
| <i>NT_p</i> | <i>Número de visitas de terapias al paciente</i> |
| <i>TMáxp</i> | <i>Tiempo máximo de atención al paciente</i> |
| <i>Tmínp</i> | <i>Tiempo mínimo de atención al paciente</i> |
| <i>Hi_p</i> | <i>Hora de inicio de atención al paciente</i> |
| <i>HAV</i> | <i>Hora de arribo del vehículo al domicilio del paciente</i> |
| <i>HSV</i> | <i>Hora de salida del vehículo del domicilio del paciente</i> |

Nota. Siglas definidas para el tiempo.

Promedio: Como el vehículo se desplaza a diferentes velocidades a través de todo el recorrido el parámetro se establece en un promedio denominado velocidad promedio

➤ **Vprom.**

Otros parámetros que hacen parte del sistema de ruteo para lograr su optimización son:

Distancia: Hace referencia a la distancia que existe entre el origen (Clínica) y cada uno de los pacientes y/o entre paciente y paciente. La distancia es un valor absoluto que debe ser calculado entre los usuarios y a su vez entre estos y el origen. Esto se enmarca entre dos valores opuestos que son:

Tabla 3

Parámetros de Distancia

| | |
|--|---|
| <i>D_{máx}</i> | <i>Distancia máxima a recorrer</i> |
| <i>D_{mín}</i> | <i>Distancia mínima a recorrer</i> |
| <i>DC_p</i> | <i>Distancia clínica al primer paciente</i> |
| <i>DP^x_{p^y}</i> | <i>Distancia paciente X a paciente Y</i> |

Nota. Siglas definidas para la Distancia.

Número de pacientes: Se refiere al total de pacientes que deben atenderse en cada ruta, de acuerdo a las zonas en que está dividida la ciudad, y que en estos momentos es de doce (12) por ruta.

Herramientas e Instrumentos Utilizados para Prestar el Servicio.

Vehículo: Para el servicio médico domiciliario se utilizan vehículos tipo van, con el fin de tener más espacio para el desplazamiento de los profesionales.

¿Qué es la Modelación Matemática?

“Es el proceso que utiliza conceptos y técnicas, esencialmente matemáticas, para el análisis de situaciones reales” (Bassanezi & Biembengut, 2002, pág. 13).

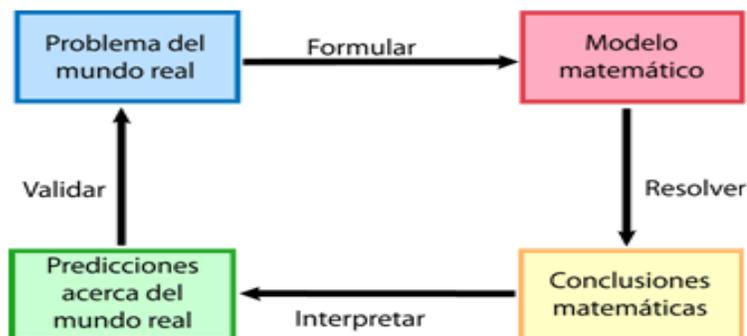
Otra definición clásica de lo que es la modelación matemática se propone de la siguiente manera: “Un problema constituye una representación o abstracción de la realidad. Entre los diferentes tipos de problemas se pueden mencionar los analógicos, físicos, gráficos, esquemáticos y matemáticos” (Brito, Alemán, & Fraga, 2011, pág. 1).

Estos autores complementan el estudio de la modelación matemática realizando el siguiente análisis, que muestra la importancia que tiene para resolver problemas complejos que hacen parte de la vida real. Este análisis complementario lo validan con base en un esquema que muestra cómo se adelanta un proceso de modelado:

En un problema matemático se establece un conjunto de relaciones (de igualdad y/o de desigualdad) definidas en un conjunto de variables que reflejan la esencia de los fenómenos en el objeto de estudio. Formalmente un problema matemático M es una estructura, donde R es el conjunto de las relaciones y V el conjunto de las variables.

Figura 2

Proceso de Modelado



Nota. Reproducida del conjunto de relaciones del proceso de modelado, (Brito, Alemán, & Fraga, 2011).

Dado un problema del mundo real, la primera tarea es formular un problema matemático. Para ello se identifican y nombran las variables y se establecen hipótesis que simplifiquen el fenómeno lo suficiente para que pueda tratarse matemáticamente. En lo anterior se pone a prueba el conocimiento de la situación física y las habilidades matemáticas para obtener las relaciones entre las variables. En algunas situaciones en que no se dispone de una ley física, es necesario examinar una colección de datos para reconocer patrones, interpretando los mismos numéricamente, gráficamente e incluso podrían sugerir una representación algebraica. (Brito, Alemán, & Fraga, 2011, pág. 1).

Para este proyecto se escogió una tabla con los tiempo reales registrados en una ruta de la zona 1 norte de la ciudad que se utiliza en la clínica como base para ser guardada en los archivos y así demostrar que la ruta se realizó, que los pacientes fueron notificados con un día de anterioridad y se consigna en la base de datos dependiendo del tipo de servicio que se realizó ese día para llevar un histórico de los datos de los pacientes, tener una prueba de la visita para así no repetir usuarios del servicio.

La figura 3 muestra una tabla de ruta utilizada en la clínica Rafael Uribe Uribe, el día 26 de abril del año en curso con la jefa de curaciones de enterostomía y los tiempos que se generó dicho día.

Figura 3

Formato de Ruta de la Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe.

| RUTA VIERNES 26 DE ABRIL 2021 JEFA DE TEO/ CONDUCTOR JORGE | | | | | | | | |
|--|-------------------|----------|------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------|----------------|
| CEDULA PACIENTE | NOMBRE Y APELLIDO | TELEFONO | CELULAR | DIRECCION | BARRIO | OBSERVACIONES | HORA DE INGRESO | HORA DE SALIDA |
| 29496981 | ELCY POLANCO | | 3108218453 | Calle 1ª # 67-61 | Refugio | | 7:05 | 7:25 |
| 29034233 | FLOR M. OROZCO | 3704875 | 3152755043 | Carrera 26 J calle 72 T1 | Los lagos | | 8:50 | 9:18 |
| 29028388 | MARÍA M. ROCHA | 4492753 | 3116299117 | Calle 59 1C-125 T6 apto 301 | Torres de Comfandi | | 9:43 | 10:10 |
| 16745589 | MAURICIO FORY | 3376683 | 3005271615 | Carrera 42B # 46-53 | La unión | | 8:03 | 8:21 |
| 25625111 | JOSEFINA CHACON | 3858596 | 3172307510 | Calle 71ª # 8N-63 | Guadales | | 10:23 | 10:44 |
| 20214533 | MARÍA L. SANABRIA | 4031230 | 3162994453 | Av. 2HN # 52 AN-51 | Álamos | | 11:04 | 11:30 |

HORA DE INICIO RUTA 6:30 a.m.

FIRMA CONDUCTOR: JORGE AMAYA

HORA FINALIZACION RUTA 12:00 p.m.

FIRMA PROFESIONAL: MARYURI GIRALDO

Nota. Reproducida, copia textual del formato original, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021.

Importancia de la Modelación de los Sistemas de Transporte

Actualmente y debido a los acelerados cambios que se producen en el mundo empresarial impulsados por la globalización y la rápida transferencia de conocimientos, los gestores de proyectos, así como grandes y pequeños emprendedores están privilegiando el mejoramiento continuo para optimizar permanentemente sus procesos productivos y mantenerse competitivos en el mercado con el cual interactúa. De este mejoramiento continuo hacen parte todas las áreas

funcionales de la empresa, bien sea en el campo administrativo, productivo, de servicios y comercial. Se entiende que el propósito fundamental de una empresa, negocio, sea cual fuere su tamaño, condición jurídica o aportación económica, es la de privilegiar a los clientes. Dado el caso se tendrá a la logística como un aspecto primordial dentro del sistema empresarial, es decir, llevar los productos y/o servicios al cliente desde la compañía con base en el concepto denominado justo a tiempo (justa at time) , o sea entregar los bienes y/o servicios al cliente en el tiempo requerido por este y cumpliendo con las especificaciones de calidad exigidas.

Por este motivo, los ingenieros de las empresas deben de presentar soluciones que permitan desarrollar procesos para el funcionamiento eficiente, flexible y efectivo de las diferentes áreas de la empresa, por ejemplo: En el proceso de producción, en el sistema de control de calidad, en el de mercadeo, en el de manejo de inventarios, en el de almacenamiento y en el sistema de transporte si este hace parte de la dinámica empresarial. La resolución de problemas de logística que hacen parte de la cadena de suministros y de optimización de proceso se presentan como soluciones de gran valor para alcanzar la competitividad de la empresa.

Dentro de este contexto es donde se hace imprescindible, dado la complejidad y el gran volumen de datos que se manejan en los procesos que se adelantan dentro de una compañía, la modelación matemática como mecanismo de solución para dichos procesos. Encontrar una solución óptima requiere de un minucioso análisis de las variables que componen el sistema objeto de estudio, para encontrar cual es la solución que se desea optimizar y definir qué restricciones se deben aplicar. En este sentido, un aspecto fundamental que hace parte de la optimización a través de la modelación matemática es el de los problemas de ruteo en los

sistemas de transporte que son complejos por el número de restricciones que poseen y por las variables que se deben manejar para optimizar el sistema.

Como puede verse la importancia de la modelación matemática es tal que abarca todos los campos empresariales, desarrollos científicos y estudios académicos. La modelación y simulación es algo realmente importante ya que nos permite experimentar y visualizar cómo se comporta un sistema y en qué área se pueden realizar mejoras en el funcionamiento del sistema basándonos en resultados obtenidos en la simulación. Antes de empezar cualquier tipo de proyecto se debe de entender bien cómo es que funciona el sistema y cuáles son las variables involucradas para poder modelar el sistema y que sea muy parecido al sistema en la realidad. La manera más sencilla de que podamos determinar que el problema sea válido es determinar que las salidas del problema están muy cerca de la realidad del sistema. (Argueta, 2019, pág. 1).

Según este mismo autor existen cuatro (4) aspectos que caracterizan a la modelación matemática:

Es de suma importancia conocer la modelación y simulación para entender un sistema y tomar decisiones con los resultados de este. (Argueta, 2019, pág. 1)

Existen diversos programas y cada uno está especializado en un área por ejemplo modelación de tráfico, transporte, industrias, etc. (ídem)

Es posible realizar un ambiente sintético por medio de un programa para simular una situación de la vida real. (ídem)

Es posible predecir el comportamiento en el futuro de un sistema mediante la simulación. (ídem).

Sistemas de Transporte para el Servicio Médico Domiciliario

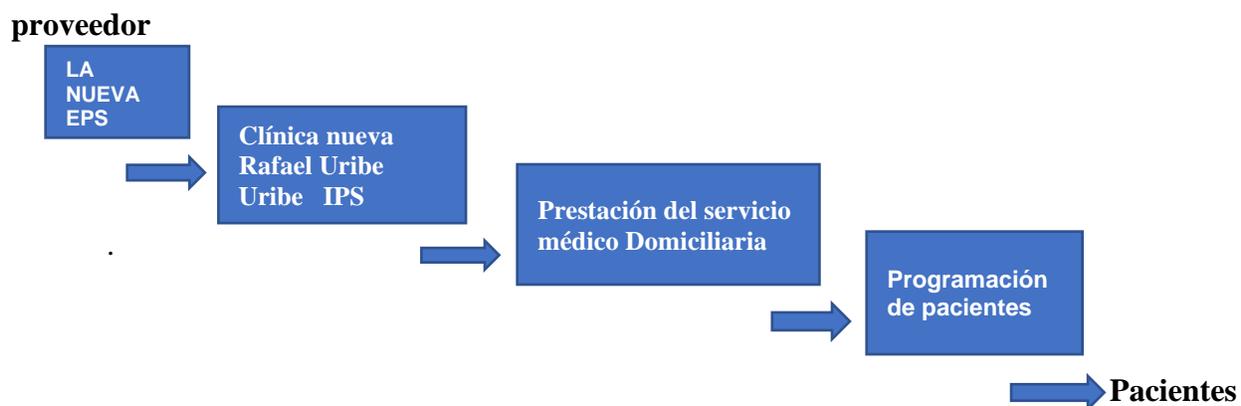
El sistema de transporte para el servicio médico domiciliario está conformado por una serie de vehículos con la capacidad suficiente para transportar a los diferentes especialistas a los sitios donde deben prestar la atención médica. Estos vehículos deben ser cómodos y estar provistos de todos los elementos necesarios para brindar la seguridad a los profesionales que son transportados en ellos; por lo demás son vehículos que trabajan en condiciones normales. Por esta razón, no pueden confundirse con vehículos medicalizados, como son las ambulancias, ya que estas prestan servicios de urgencias a pacientes en condiciones de accidentalidad o de gravedad. Es necesario recalcar que los conductores que hacen parte del programa no son paramédicos, su preparación se fundamenta en conocimientos específicos de la ciudad, de movilidad y son preparados con capacitaciones por parte de los jefes del servicio, del encargado de la seguridad e higiene de la clínica para evitar contagios y manipulación de elementos microbiológicos debido a la pandemia del Covid 19.

Importancia de la Logística Dentro de la Cadena de Suministros.

La cadena de suministros, en término general, es aquella donde se realizan una serie de actividades, acciones o procesos tendientes a llevar un producto terminado desde la fábrica hasta el cliente, procedimiento que comprende desde la llegada de la materia prima de parte del proveedor, su almacenamiento, su transformación en un producto terminado, su almacenamiento nuevamente y finalmente su transporte a los clientes.

Figura 4

Cadena de Suministros

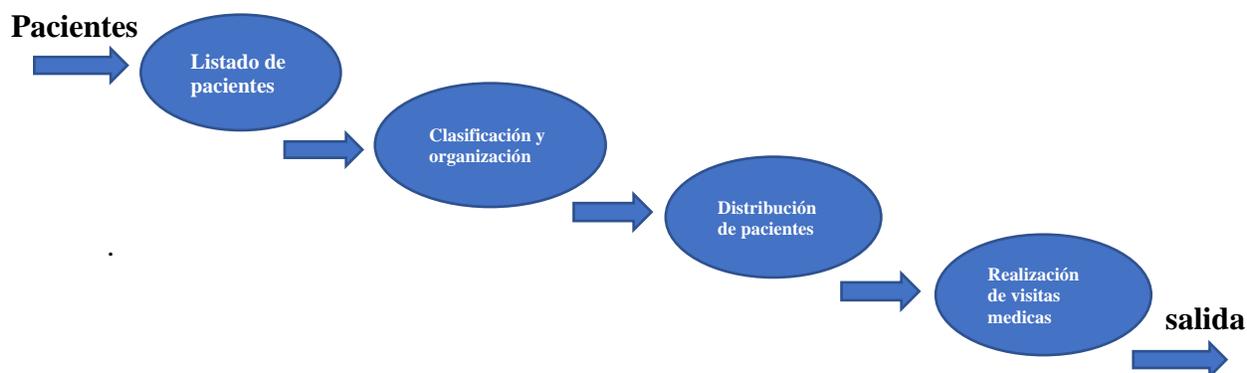


Nota. Logística como se adelanta el proceso de servicio de atención médica domiciliaria.

La figura 5 muestra el proceso logístico para realizar las visitas a los pacientes, el cual se inicia, con el listado de pacientes, los cuales serán programados y ubicados de acuerdo a su localización geográfica, para ser distribuidos en las diferentes zonas de la ciudad en las que se llevarán a cabo las visitas domiciliarias.

Figura 5

Logística de la cadena de visitas médicas



Nota. Ciclo como se lleva a cabo el proceso de las visitas médicas domiciliarias.

Conceptualización Sobre el Servicio Médico Domiciliario.

El servicio médico domiciliario es uno de los aspectos de mayor importancia que prestan los hospitales y clínicas. Este servicio ha tenido un crecimiento significativo en la última década, debido a la gran demanda que tiene en aquellas personas que por su condición física y/o mental no pueden trasladarse personalmente a los hospitales. Se espera que este servicio, especialmente con la aparición de patógenos que producen una gran morbilidad en la población.

El Doctor Esteban en su libro Guía de buena práctica clínica en atención domiciliaria (2005), plantea las siguientes definiciones:

La atención domiciliaria (AD) se puede definir como un servicio predominantemente sanitario mediante el que se provee asistencia continuada para la resolución domiciliaria de problemas de salud que no requieren hospitalización, dirigida a personas que no se pueden desplazar a un centro hospitalario por impedimentos generalmente de carácter físico. La atención social en domicilio suele tener distinta dependencia, pero debe complementar y coordinarse con la sanitaria. (Sobreviela, Ramírez, & Sánchez, 2005, pág. 9)

Otra definición planteada por el Doctor Esteban (2005), haciendo referencia a Torra y Bou es la siguiente:

Conjunto de actividades que surgen del contexto de una planificación previa, desarrollada por los profesionales que integran el equipo multidisciplinario de atención

de salud y que tienen como objetivo proporcionar atención de salud, mediante actividades que incluyen contenidos de promoción, protección, curación y rehabilitación dentro de un marco de plena corresponsabilización del usuario y/o familia con los profesionales del equipo de salud, en el domicilio de aquellas personas que debido a su estado de salud o a otros criterios previamente establecidos por equipo, no pueden desplazarse al atención de centro primario. (Sobreviela, Ramírez, & Sánchez, 2005, pág. 11)

Las características de la atención domiciliaria (AD) según el Doctor Esteban (2005)

Es un proceso enmarcado dentro del concepto de atención longitudinal y continuada

Se realiza en el domicilio del paciente.

El núcleo de atención lo constituye el enfermo y sus cuidadores, tanto familiares como informales

Debe proporcionar una atención biopsicosocial (las tres esferas de la salud)

Los recursos de este tipo de atención son fácilmente movilizables al domicilio.

(Sobreviela, Ramírez, & Sánchez, 2005, pág. 11)

Las ventajas que presenta el servicio de atención domiciliaria según este mismo autor (esteban 2005) son:

- Controlar la evolución del enfermo tras el alta hospitalaria.
- Integrar todos los cuidados que puede proporcionar la AP mediante la visita del profesional de enfermería en solitario, o conjuntamente con el médico.
- Analizar la demanda existencial para optimizar la adecuación de los recursos.
- Mayor competitividad entre los médicos más jóvenes

- Aumento del coste de los cuidados institucionales.
- Creciente aumento de personas de 65 o más años en la población.
- Mejor relación Médico-enfermo en la relación directa en el ambiente domiciliario. (Sobreviela, Ramírez, & Sánchez, 2005, pág. 13)

Caracterización del problema de enrutamiento de vehículos - VRP

De acuerdo con lo publicado por UNISOLUTIONS NEWS en el 2014, empresa dedicada a soluciones logísticas, el problema en la generación de rutas para vehículos que utilizan este tipo de sistema (VRP) como su nombre lo indica, es el de determinar el costo mínimo de una flota o grupo de vehículos que inician sus recorridos desde un origen llamado depósito; que se desplazan en una ciudad o ciudades con un grupo de clientes dispersos geográficamente y que terminan nuevamente en el depósito. (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 9)

El problema de ruteo vehicular conocido como VRP (vehicle route problem), describe el diseño de rutas donde a partir de un depósito del que sale cada vehículo y al que tiene que regresar, luego de visitar una sola vez a los clientes para satisfacer su demanda conocida, sin violar las restricciones de capacidad de carga de los vehículos, distancia máxima recorrida por éstos, y respetando el horario de trabajo: todo ello con el fin de buscar el costo mínimo. (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 14)

De acuerdo a Énfasis Logística, las aplicaciones informáticas o software para el diseño de rutas se derivan del VRP que atienden diferentes necesidades, e incluyen

diversas restricciones o condiciones operativas impuestas por la dinámica de los mercados. Esto ha dado como resultado la modelación de diferentes variantes del problema clásico de ruteo (VRP), de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- VRP con recolección y entrega (VRPPD). Estudia el caso donde una empresa debe recolectar y entregar bienes en cantidades específicas para cada cliente visitado.
- VRP con flota heterogénea. Es un problema muy común, donde los vehículos de la empresa tienen diferentes capacidades de carga.
- Open VRP. Se refiere al caso de ruteo abierto cuando el vehículo no regresa al depósito de origen, es decir, que se dirige a otro depósito o sitio diferente para cargar productos, en un contexto de flota rentada.
- VRP con ventanas de tiempo (VRPTW). Plantea que cada cliente tiene que ser atendido de manera obligada dentro de un cierto horario o “ventana de tiempo” específico.
- VRP con depósitos múltiples (MDVRP). Implica que la empresa posee diversos depósitos desde los cuales puede abastecer a los clientes.
- Stochastic VRP (SVRP). Este problema de ruteo propone que las variables involucradas son desconocidas o aleatorias, e incluso que se pueden encontrar en un rango de probabilidad, tales como el número de clientes, sus demandas, tiempo de servicio, tiempo de viaje, entre otras.
- Periodic VRP (PVRP). Analiza un problema donde los pedidos pueden ser llevados sólo en ciertos días.

- VRP multiobjetivo. Busca soluciones óptimas de ruteo considerando dos o más objetivos que se deben satisfacer por la empresa, pero que son contradictorios.

(Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 16)

Conceptualización de la Heurística y la Metaheurísticos:

Las heurísticas son algoritmos con los que se encuentran soluciones aproximadas a las soluciones óptimas, en un tiempo computacional razonable (Olivera, 2004). Entre estas podemos mencionar:

✓ La heurística de Clark & Wright: El algoritmo parte dos rutas originales, las cuales al combinarlas forman una nueva ruta dando como resultado un ahorro en el costo dejando una sola ruta (Lysgaard & Sørensen, 1997). (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 14)

✓ La Heurística del Vecino más Cercano: Este algoritmo construye las rutas secuencialmente, seleccionando de manera iterativa los puntos con menor distancia para insertarlos a la ruta (Contreras P.& Díaz D., 2010). (Ídem).

✓ Cluster First, Route Second: Este algoritmo trabaja en dos fases, en la primera fase agrupa los puntos teniendo en cuenta las restricciones de capacidad del vehículo y en la segunda fase se crean las rutas (Prins, Lacomme, & Prodhon, 2014). (Ídem).

✓ Route First, Cluster Second: El algoritmo se desarrolla en dos fases, en la primera fase se hace un ruteo donde se visitan los clientes y en la segunda se crean los cluster basados en las restricciones de capacidad. (Beasley, 1983) (Lüer, Benavente Bustos, & Venegas, 2009). (Ídem)

✓ (Ramírez, una solución al problema de ruteo de vehículos abierto (ovrp), implementando la heurística del vecino más cercano, p.12) (Ídem).

De acuerdo con la anterior información se decide escoger el problema VRP como problema clásico para el objeto de estudio de la Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe por las siguientes razones:

1. En la ciudad de Santiago de Cali se encuentran ubicados todos los pacientes del servicio médico domiciliario, solo se atienden los usuarios que se encuentran radicados en la ciudad no se atienden personas que estén fuera de la ciudad, en corregimientos, pueblos, fuera del perímetro urbano u otras ciudades del departamento del valle.
2. Los pacientes son ubicados de acuerdo a su localización geográfica para tener un mejor control en el manejo de la programación de las rutas.
3. La ciudad de Santiago de Cali, está compuesta 249 barrios ubicados en 22 comunas y 15 corregimientos por Estadísticas Demográfica del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).
4. Por esta razón el programa de atención domiciliaria con la ayuda del estudiante autor del proyecto decidió dividir la ciudad en cinco (5) zonas (Norte, Oriente, Sur Centro y Occidente), donde cada zona ubica los barrios de Cali correspondientes a la misma.

5. El problema VRP maneja la teoría de un depósito en este caso la clínica y un recorrido que regresa a su punto de origen, por lo que la teoría es práctica, sencilla y se acopla exactamente a lo que se busca para programar las rutas de la atención médica domiciliaria.

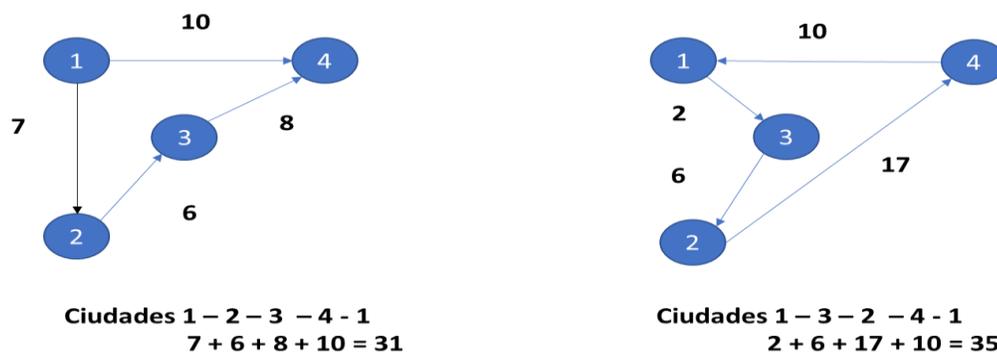
Se analiza el TSP (travelling salesman problema) problema del agente viajero, el cual necesita visitar un grupo de ciudades debe salir de una de estas ciudades y visitar cada una de ellas una sola vez y regresar nuevamente a la ciudad de partida. Depende de lo que se esté buscando, se identifica la ruta que posea el menor costo con relaciona al tiempo empleado, es decir encontrar aquella en la que el agente viajero se tarde menos en visitar estas ciudades, o también definir aquella que tenga la menor distancia durante todo el recorrido. (Elejalde & Ramírez, 2010)

(Las siguientes figuras fueron tomados de un ejemplo del problema del agente viajero TSP tutorial de YouTube).

Ejemplo: Se visita 4 ciudades:

Figura 6

Diagrama TSP para Visitar Cuatro Ciudades



Nota: La primera gráfica muestra la ruta más corta para realizar el recorrido (31)

Un problema TSP, donde se desee encontrar la ruta más corta entre varias ciudades se puede resolver de diferentes maneras dependiendo el número de las mismas y la dirección en que se encuentren ubicadas. Para el caso de las cuatro (4) ciudades referenciadas anteriormente existen seis (6) posibles soluciones, de las cuales se determinó la más corta, que conlleva al menor costo.

Pero, en relación a la atención domiciliaria según el análisis realizado un problema de esta naturaleza es difícil de resolver por el sistema TSP por las siguientes razones:

- En la actualidad la cantidad mínima de pacientes a visitar es de 12 por ruta, cuando están más próximos al origen (clínica) podemos incrementar la cantidad.
- Los pacientes del servicio médico domiciliar se encuentran ubicados solamente en la ciudad de Santiago de Cali, no tenemos que salir de la ciudad para el desplazamiento.
- El planteamiento del TSP sugiere que en la ciudad deben ser visitados una sola vez. Para los pacientes domiciliarios según la asistencia médica aplica, pero en lo relacionado a las terapias físicas, fonoaudiología, ocupacional y respiratoria su frecuencia es dos (2) veces por semana o máximo tres (3) según las condiciones del paciente, por lo tanto, para este tipo de atención no aplica el TSP.
- Por esta razón, se tomó la decisión de aplicar el problema VRP como solución al problema de ruteo en la clínica. Ahora bien, como información explicaría adicional la formulación matemática para el TSP es: Consideremos el caso de una red o un grafo: $G(N, A)$. Este grafo está compuesto por:

N= Número de pacientes de la red, ubicados en cada una de las zonas en que se divide la ciudad.

A= Conjunto de arcos (i, j) en la red, es decir la distancia entre un nodo y otro.

C_{ij}= Costo de utilizar el arco (i, j) es decir el de recorrer una distancia entre un nodo y otro.

i: Paciente i

j: Paciente j

X: pacientes.

X_{ij}: paciente i y paciente j

Iniciando paciente i es el primer paciente visitado el paciente j es el siguiente paciente a visitar. Posteriormente el paciente j pasa a ser el paciente i y el siguiente paciente el paciente j y así sucesivamente.

$$\sum_{i=1}^n \mathbf{X}_{ij} = 1 \text{ para } i = 1 \dots n$$

$$\sum_{j=1}^n \mathbf{X}_{ij} = 1 \text{ para } j = 1 \dots n$$

En este sentido X_{ij} pertenece al sistema binario cero uno (0,1)

$$X_{ij} \in (0,1)$$

X_{ij} = 1 Si el vehículo va directamente al paciente que se quiere atender sin pasar por otros pacientes, es decir va del paciente i al paciente j

X_{ij} = 0 Si el vehículo no va directamente del paciente i al paciente j, sino que pasa a atender otros pacientes

Las metaheurísticas tienen como objetivo explorar eficientemente espacios de búsqueda de soluciones más cercanas a las soluciones óptimas, mejorando

procedimientos heurísticos generales. El término metaheurística se obtiene de anteponer a heurística el sufijo “meta” que significa “más allá” (Blum & Roli, 2001), Los algoritmos metaheurísticos no visitan de manera iterativa cada elemento en el espacio de búsqueda, en realidad guían su proceso de búsqueda hacia las regiones que pueden contener soluciones de alta calidad (Dib, Manier, Moalic, & Caminada, 2015). A continuación, se describen algunas de estas:

Algoritmo de Colonia de Hormigas: Tiene en cuenta el camino de salida de la colonia en busca de alimento, inicialmente salen de manera aleatoria y una vez encuentran su alimento regresan dejando un rastro de feromona que le permite a otras hormigas seguir este mismo camino, reforzando así las mejores soluciones. En el caso de las hormigas artificiales estas crean sus soluciones secuencialmente moviéndose de un estado del problema a otro, las hormigas artificiales manejan una feromona artificial que es la modificación de valores numéricos, este mecanismo les permite a las hormigas olvidar la historia y enfocarse en nuevas direcciones de búsqueda prometedoras. (Franco, 2010). (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 15)

Algoritmo Genético: Este algoritmo se fundamenta en la teoría de selección natural, dirige su búsqueda en la información que dio mejores resultados para dar una mejor solución, eliminando la información que no proporcione mejores soluciones (Franco, 2010), (Dib, Manier, Moalic, & Caminada, 2015). (Ídem)

Algoritmo de Búsqueda Tabú: Su característica más distintiva es el uso de memoria adaptativa. Usa una memoria de corto plazo para evitar ciclos de búsqueda, esta memoria es implementada como una lista tabú que mantiene registros de atributos de soluciones ya visitadas recientemente, estos atributos pueden ser movimientos o

diferencias entre dos soluciones, con la lista Tabú se permite filtrar las soluciones permitidas, con lo que se corre el riesgo de excluir buenas soluciones, para este caso se implementa un criterio de aspiración que permite incluir una solución que estaba prohibida (Franco, 2010), (Dib , Manier , Moalic , & Caminada , 2015). (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 15)

Métodos de solución: Estos métodos de solución pueden ser agrupados según (Toth & Vigo,2002) de la siguiente manera

Métodos Exactos: “Dada la complejidad de los problemas para encontrar soluciones optimas, por ser clasificados como un problema de optimización combinatoria, estos métodos pueden ser utilizados para estancias con pocos puntos, la búsqueda exhaustiva de la solución óptima no resulta eficiente computacionalmente (Orrego Cardozo, 2013). A continuación, se presentan algunos métodos considerados exactos. (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 16)

Método de Branch and Bound: Esta técnica de solución consiste en dividir el problema en problemas más pequeños, resolverlos de forma individual y finalmente consolidar las soluciones generando una solución al problema original. (Bakarcic & Di Piazza, 2012). (Ídem)

Método de Branch and Cut: Este algoritmo descende del método Branch and Bound, el algoritmo de Branch and Cut detecta las ramificaciones que proporcionan soluciones distantes de la óptima para podarlas, de esta manera aprovecha sus recursos para encontrar la solución óptima. (Bakarcic & Di Piazza, 2012).” una solución al problema de ruteo de vehículos abierto. (Ídem)

Para la clínica nueva Rafael Uribe Uribe cada función de los involucrados en el programa domiciliario tiene un cronograma de labores que cumplen dentro de las instalaciones de la misma. Por ejemplo, los médicos son los actores con mayor desempeño en el sistema, ya que involucra la atención de los pacientes desde que los atienden hasta que terminan el tratamiento en todo su contexto; los médicos son quienes determinan que tipo de servicios y tratamiento recibirá el paciente. Posteriormente, debe registrar en la historia clínica del beneficiario sus patologías, los tratamientos a seguir y los medicamentos que deberá consumir, las alergias, la evolución y el desempeño de cada profesional involucrado en el tratamiento.

Ya en una segunda visita el médico debe hacer el seguimiento de la evolución del paciente, registrando si carece de algún medicamento, con el fin de emitir las ordenes de entrega del mismo a sus familiares y hacerles saber el estado de salud del paciente para que ellos puedan comprender si el procedimiento les ha permitido mejorar, o por el contrario están condenados al deterioro de su bienestar.

Marco Conceptual

Programación lineal: Tiene como propósito optimizar una función objetivo, en este caso de un problema de transporte, teniendo en cuenta todas las variables y restricciones que inciden en el sistema de ruteo para el servicio de atención domiciliaria de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe. Por esta razón, se puede decir que en este caso la programación lineal tiene como objetivo maximizar o minimizar los tiempos que se utilizan para adelantar las diferentes visitas domiciliarias. Tiempo que incluye el desplazamiento más el tiempo de servicio y, a su vez, este sujeto a una serie de restricciones dispuestas por la clínica de acuerdo a sus necesidades.

Según Josefina Pacheco (2019):

La programación lineal, se refiere a un algoritmo que por medio de él se pueden resolver diversas situaciones reales en las que se desea identificar y solucionar ciertas dificultades que ayuden a aumentar la producción de recursos que contengan algunas limitaciones y de esa forma aumentar los beneficios. (Pacheco, 2019, pág. 1)

Atención Médica Domiciliaria para la Clínica

Según Velásquez (2020) La atención domiciliaria:

se ha definido en términos de recursos, que incluyen servicios personales (enfermería, terapia ocupacional, consulta médica), consumo (equipos para colostomía, incontinencia), y equipos (camas hospitalarias). La hospitalización domiciliaria se hará más común a medida que se concentre la atención en la familia. La hospitalización en la casa requiere de un plan supervisado de cuidado médico, en coordinación con la familia y

un equipo humano de asistencia domiciliaria que incluye enfermería, psicología, terapia ocupacional, fisioterapia, logoterapia, etc. Los criterios para elegir los pacientes que van a recibir asistencia médica domiciliaria incluyen: estabilidad clínica, cuidadores competentes, entorno apropiado, y disponibilidad del servicio profesional que supervise el tratamiento. (Velásquez, 1998-2021, pág. 1)

Esta definición es bastante apropiada para definir la asistencia domiciliaria médica en la clínica nueva Rafael Uribe Uribe (objeto de estudio)

Ruteo en la Atención Domiciliaria

Para la clínica nueva Rafael Uribe Uribe el ruteo en la atención domiciliaria es aquel que se adelanta con cinco (5) vehículos contratados para tal problema. En este sentido la ciudad se ha dividido en cinco (5) sectores: norte, sur, occidente, oriente y centro. A cada uno de estos sectores se envía un vehículo de acuerdo a los requerimientos de los pacientes, el cual transportará bien sea a un médico, Auxiliar de enfermería, terapeuta o en muchos casos dos profesionales de la salud de las ramas mencionadas anteriormente. (Clínica Nueva, 2019)

Modelación

Según la facultad de informática de la universidad de Barcelona (2012) modelación es:

- Es una abstracción de la realidad.
- Es una representación de la realidad que ayuda a entender cómo

funciona.

- Es una construcción intelectual y descriptiva de una entidad en la cual un observador tiene interés.
- Se construyen para ser transmitidos.
- Supuestos simples son usados para capturar el comportamiento importante.

En el caso del proyecto objeto de estudio el concepto modelación tiene aplicación para mejorar la distribución de las rutas de atención domiciliaria, realizadas con base en cinco (5) vehículos.

Corredor Logístico

“Un corredor logístico es aquel que articula de manera integral orígenes y destinos en aspectos físicos y funcionales como la infraestructura de transporte, los flujos de información y comunicaciones, las prácticas comerciales y de facilitación del comercio” (Mundial de Finanzas, 2006, pág. 1)

“logística es el proceso de planear, controlar y administrar la cadena de abastecimiento y distribución, desde el proveedor hasta el cliente y con un enfoque en la red de valor y colaboración entre los actores de la red logística interna y externa” (Guacaneme & Pulido, 2013, pág. 24)

La logística del transporte

Reúne las actividades correspondientes a las distintas operaciones logísticas que permiten el traslado del producto dentro o fuera de la planta, consolidando o des

consolidando cargas. Por otra parte, la logística de distribución consiste en la administración del stock por lugar de pedido, teniendo en cuenta la cadena desde el proveedor hasta el cliente final. (Guacaneme & Pulido, 2013, pág. 41)

Optimización

La optimización, también denominada programación matemática, sirve para encontrar la respuesta que proporciona el mejor resultado, la que logra mayores ganancias, mayor producción o felicidad o la que logra el menor costo, desperdicio o malestar. Con frecuencia, estos problemas implican utilizar de la manera más eficiente los recursos, tales como dinero, tiempo, maquinaria, personal, existencias, etc.

Los problemas de optimización generalmente se clasifican en lineales y no lineales, según las relaciones del problema sean lineales con respecto a las variables. Existe una serie de paquetes de software para resolver problemas de optimización. (Guacaneme & Pulido, 2013, pág. 41)

Palabra claves para la clínica nueva Rafael Uribe Uribe del programa de atención médica domiciliaria se definen de la siguiente manera:

Paciente domiciliario: Es aquel paciente o beneficiario que recibe la atención médica domiciliaria de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe.

Geriatra: Es el médico especialista encargado de valorar el paciente cuando el médico determina que por sus condiciones de salud no ameritan la prestación de la atención domiciliaria. Dictamina y decide si el paciente continua con el servicio o si realmente se retira del programa.

Médico domiciliario: Este concepto hace referencia a los profesionales de la salud que se encargan de prestar el servicio médico domiciliario de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe.

Enfermera jefa: Es el profesional que se encarga del trato directo con los familiares, solucionando problemas de atención, entrega de insumos, medicamentos y mipress (ordenes delicadas y costosas). Si por si alguna razón, se vencen las ordenes emitidas la enfermera jefa es la encargada de solucionar su expedición, en general sus actividades están más encaminadas al aspecto administrativo y solo en casos extremos o de gravedad visita los pacientes.

Enfermera auxiliar domiciliaria: Este concepto hace referencia a los profesionales de la salud que se encargan de prestar el servicio de auxiliar de enfermería, toma de muestras o laboratorios, cambios de sonda y pequeñas curaciones al beneficiario domiciliario de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe.

Trabajador social: Es el encargado de conciliar con la familia el trato humano y el estado de convivencia en el que el paciente debe convivir en el seno familiar para que pueda tener una recuperación sana.

Terapeuta domiciliario: Estos profesionales son los encargados de la recuperación de los pacientes en el área física, respiratoria, fonoaudióloga y ocupacional, ellos prestan sus servicios a los usuarios domiciliarios en busca de lograr mejorar o restablecer la salud del paciente.

Trabajador ocupacional: Este profesional es el encargado de la recuperación cognitiva del paciente, busca que desarrolle su independencia y la autonomía de su ser, para que pueda encargarse de su propia vida.

Psicólogo: Este profesional es el encargado de la recuperación mental del paciente, la cual busca a través de sesiones que permite valorar la situación sentimental y emocional del paciente, así como también, brindarle apoyo psicológico para que este pueda aceptar su situación física y facilite que los médicos, terapeutas y demás profesionales le ayuden en su recuperación.

Nutricionista: Es la encargada de valorar el estado nutricional de los pacientes, recomendando dietas y establecer un régimen de alimentación que esté acorde con el estado de salud del paciente para su recuperación.

Marco Legal y Normativo

Leyes que rigen el servicio médico

El marco legal y normativo que rige el servicio médico domiciliario está conformado por las siguientes resoluciones, leyes y artículos que le dan sostenibilidad jurídica y legal en el campo de la salud. Según Natalia Baquero Molina (MD) referente del programa de atención domiciliaria SDS de la subsecretaria de servicios de salud y aseguramiento dirección de provisión de servicios Bogotá D.C. (2017); el marco legal y normativo se inicia con una definición de lo que son, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los servicios de atención medica domiciliaria. (lineamientos para el programa de atención domiciliaria, Baquero N,2017, ps 3-17)

Es la provisión de servicios de salud por parte de cuidadores formales o informales, en el hogar, con el fin de promover, restablecer o mantener el máximo nivel de confort, funcionalidad y salud, incluyendo cuidados tendientes a dignificar la muerte. Los servicios domiciliarios pueden ser clasificados por categorías en promoción, prevención, terapéuticos, rehabilitación, cuidados crónicos y paliativos.

Ahora bien, partiendo de esta definición la normatividad es la siguiente resolución:

- 6408 de 2016
- ARTÍCULO 27. Atención Domiciliaria.
- ARTÍCULO 68. Atención Paliativa.
- ARTÍCULO 82. Atención Para La Recuperación De La Salud.
- Ley 1751 de 2015
- Salud = Derecho Fundamental.

- Resolución 2003 de 2014.
- Habilitación de prestadores.

- Ley de cuidados paliativos 1733
- del 8 de septiembre de 2014.

- Ley 1438 de 2011
- En el Título VI, capítulo II el artículo 64, se ocupan del tema de la prestación de servicios de Atención Domiciliaria.

- Ley de Cáncer, 1384 del 19 de abril de 2010.
- Art. 4 numeral b, Art. 8, Art. 10. Que dispone todos los mecanismos que deben implementarse tanto a nivel asistencial intra y extra institucionalmente para el manejo integral del paciente.

- Ley 1122 de 2007
- Art. 1, 22, 33: Problemas de atención primaria y atención domiciliaria.

- Resolución 5592 de 2015.
- Art. 8, 27, 68, 82: Atención domiciliaria, atención paliativa, atención para recuperación de la salud.

- Resolución 13431 de 1991
- Declaración de los Derechos de los Pacientes.

- Resolución 1995 de 1999
- Manejo de la Historia Clínica.

Marco Académico

Relación con Líneas de Investigación

El proyecto se enmarca dentro de la línea de productividad, competitividad e innovación; específicamente en las áreas temáticas de:

- Gestión de operaciones y logística
- Investigación de operaciones y estadística
- Problemas matemáticos aplicados, optimización y simulación

Relación con Misión del Programa

Esta es una propuesta que busca generar aplicaciones científicas e interdisciplinarias con responsabilidad y visión ética, por lo tanto, tiene una relación directa con la misión del programa de ingeniería industrial.

Relación con Visión del Programa

Dado que es un proyecto que le va a permitir a los estudiantes tener una mayor cualificación profesional, adquiriendo conocimientos más profundos de los temas que hacen parte del mismo, lo anterior les dará a los estudiantes una mayor y mejor praxis en el campo laboral lo cual es prenda de garantía para su desarrollo profesional.

Relación con Objetivos del Programa

Es un proyecto que en toda su extensión y contexto está dirigido a la formación de profesionales más íntegros, con un alto espíritu investigativo y con conocimientos más profundos sobre los temas que involucran la propuesta y aquellos que colateralmente influyen en la misma. Por esta razón, la relación con los objetivos del programa es directa y desde todo punto de vista estrecha e incluyente en el ámbito de la ingeniería industrial.

Asignaturas Relacionadas

Investigación de operaciones, modelación matemática, sistemas de transporte y simulación.

Competencias Desarrolladas

Habilidad para modelar programas, experiencia en el desarrollo de programación de transporte, manejo matemático de ecuaciones diferenciales y desarrollo y evaluación de proyectos

Marco Contextual

Descripción de la Fundación

la Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe es patrimonio de la ciudad de Cali como lo describen: “La clínica ISS en Cali representa el final de una época de diseño, y de un repertorio formal prácticamente desde el final de los años 50 hasta el de los 60”.

Ubicación

Se encuentra ubicada en la ciudad de Santiago de Cali en la carrera 25 norte # 2B 17, barrio San Vicente. Teléfono: 4850115

Forma jurídica: SOCIEDAD POR ACCIONES SIMPLIFICADAS

NIT: 9008915133

Misión

Somos una institución que brinda servicios de salud siempre interesados en el uso racional de los recursos, con altos estándares de calidad y tecnología de avanzada, procesos innovadores y seguros; a través de un equipo de colaboradores y profesionales que ponen al servicio su experiencia en solucionar los problemas de salud de nuestros pacientes, su completa satisfacción y generando conocimientos para el desarrollo integral del personal de salud. (Clínica Nueva, 2019)

Visión 2025

Para el 2025 seremos reconocidos por nuestros pacientes y sus familias, por los aseguradores y por nuestros colaboradores, como líderes en la prestación de servicios hospitalarios y ambulatorios con calidad, en busca de la excelencia privilegiado al usuario con un trato cálido, oportuno y seguro, siendo una institución que aporte en la construcción de un problema innovador dentro del sistema sanitario colombiano que facilita la integridad, eficiencia y la racionalización del gasto. (Clínica Nueva, 2019).

Figura

Matriz Axiológica

| Objeto de referencia / Principios | Sociedad | Estado | Familia | Pacientes | proveedores | colaboradores |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-------------|---------------|
| Honestidad | X | x | x | X | x | X |
| Confianza | X | x | x | X | x | X |
| Responsabilidad | X | x | x | X | x | X |
| Respeto | X | x | x | X | x | X |

Nota. Adaptada a los principios de responsabilidad de la Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe.

Tabla 4

Definición de Principios de Responsabilidad Social

| Honestidad | Confianza | Responsabilidad | Respeto |
|---|---|---|---|
| Actuar de manera correcta, sincera, íntegra, es el respeto a la verdad en relación con los hechos y las personas. | Atributo que genera para que de forma simple las personas tengan credibilidad frente al servicio o actividad encomendada. | Compromiso que se refleja a través del cumplimiento del deber, asumiendo los resultados de nuestros actos y decisiones. | Tener en cuenta el concepto de pluralidad, las diferencias de ideas y posturas. Reconocer los derechos de los individuos en igualdad y equidad. |

Nota. Tabla de principios de responsabilidad social para la clínica nueva Rafael Uribe Uribe.

Marco Metodológico

Tipo de Investigación

Toda investigación que se adelanta sobre el proceso logístico, se enmarca en tres (3) aspectos fundamentales que le dan sostenibilidad operativa a la investigación. Estos tres aspectos son: el cuantitativo, el cualitativo y el explicativo. Una investigación que se desarrolla dentro de un enfoque cuantitativo y a la vez cualitativo, se dice que es cuali-cuantitativa.

➤ Es una investigación cuantitativa debido a que en todo su contexto se manejan ecuaciones y formulaciones matemáticas relacionadas con los problemas de transporte que son propios de los sistemas logísticos.

Así mismo, es una investigación cualitativa porque todas las formulaciones matemáticas que se plantean dentro del enfoque cuantitativo, están permeadas por un entorno cualitativo que hace parte de las características del contexto humano, social y cultural que rodea la investigación. Es decir, no se puede plantear una formulación matemática en el campo de la logística sin antes haber estudiado y analizado el contexto en el que se lleva a cabo la investigación.

Por esta razón, toda la investigación esta permeada del aspecto cuantitativo, siendo muy poco el enfoque cualitativo de la misma por lo cual pierde relevancia.

De la misma manera, es una investigación explicativa ya que se centra en explicar las causas que ocasionan los problemas en el nodo logístico de almacenamiento, con el fin de bloquearlas o erradicarlas de tal manera que se pueda lograr un proceso logístico fluido que permita que los clientes tengan una atención justo a tiempo.

Diseño Metodológico

➤ El diseño metodológico se inicia con la identificación de un problema en la atención y prestación del servicio a los pacientes. Falencias relacionadas con demoras en el servicio, pérdida de tiempo en atención a los pacientes lo cual perjudica también el desempeño y los requerimientos del personal de la salud.

➤ Esta situación se está convirtiendo en una falla repetitiva que por su alcance y naturaleza puede llevar al retiro de algunos pacientes de los servicios prestados por la clínica, desmejorado la imagen de la misma y disminuyendo su participación en el mercado de los servicios de salud domiciliario. Es una situación que puede acarrear un clima laboral de insatisfacción y poco sentido de pertinencia hacia la empresa prestadora de salud.

➤ Después de detectado el problema el investigador lo planteo de tal manera que, por sus características o naturaleza, que con él se pudiera desarrollar un proyecto para mejorar las falencias que se estaban produciendo, es decir, eliminar o bloquear las causas que generan dichos problemas.

➤ Ya planteado el problema y establecida su justificación el investigador se enfocó en el desarrollo de los objetivos que debía plantearse como propósito para alcanzar un objetivo general que diera solución a las causas y los problemas planteados.

➤ Posteriormente, para darle sostenibilidad teórica y operativa a la investigación el autor del proyecto establece todos los marcos de referencia como: son antecedentes (estado del arte), marco teórico, marco conceptual, marco legal y marco académico.

- Con el proyecto ya definido y establecido el marco de referencia que lo justifica teóricamente y conceptualmente, además de hacerlo viable desde el punto de vista práctico, se plantea el marco metodológico que es el encargado de darle el enfoque operativo dentro del cual se desarrolla la investigación: tipo de estudio, método, instrumentos y técnicas para recolectar la investigación y la evaluación de la misma.
- Establecida la ruta operativa que permite adelantar la investigación de acuerdo a los objetivos planteados, se empiezan a desarrollar cada uno de ellos de una manera secuencialmente lógica, con el fin de ir solucionando cada una de las fallas o falencias que se presentan en el sistema logístico de transporte y, por lo tanto, eliminar las causas que generan dichos problemas.
- Ya identificados e intervenidos los problemas y las causas que lo generan, se proceden a darle solución a cada uno de los objetivos planteados, estableciendo resultados, en cada uno de ellos, que permiten, a medida que se van encontrando nuevos resultados, alcanzar el objetivo general propuesto como solución al problema.
- Los resultados obtenidos como respuesta a la intervención de cada uno de los objetivos, evidencia de manera clara y precisa cuales son las variables relevantes susceptibles de mejoramiento en el sistema logístico de transporte.
- Teniendo claro cuáles son las variables a intervenir y como resultado al desarrollo de cada uno de los objetivos, se propone un problema que optimice de manera significativa la programación del sistema logístico de transporte de las rutas médicas, que hacen parte del servicio domiciliario que maneja la clínica.

Recolección y Análisis de Datos

Para recolectar y analiza los datos se utilizarán los siguientes aspectos. En el caso de la recolección, los instrumentos a utilizar son: tablas matriciales para anotar las observaciones realizadas durante todo el proceso, la encuesta, las entrevistas y la recopilación todos los datos obtenidos de los informes, documentos, proyectos y estudios utilizados para incrementar el conocimiento del investigador sobre el tema objeto de estudio.

En el caso del análisis de la información las técnicas a emplear se fundamentan en tablas porcentuales evaluativas, gráficas y otras que sean necesario emplear de acuerdo a los requerimientos de la investigación y que permitan adelantar un análisis detallado del tema que se estudia.

Desarrollo Metodológico de la Investigación.

En las siguientes tablas se presenta el marco lógico dirigido a desarrollar las actividades relacionadas con cada uno de los objetivos específicos, definir la naturaleza conceptual de cada objetivo específico, establecer la metodología empleada para desarrollar las actividades y los instrumentos y técnicas empleadas para recolectar información.

Tabla 5

Marco lógico de investigación. Primer objetivo

| OBJETIVO ESPÉCIFICO | | | | |
|--|--|---|---|-----------------------------------|
| Realizar un diagnóstico de la forma en que se manejan actualmente las rutas medicas de la clínica nueva Rafael Uribe Uribe. | | | | |
| CONCEPTUALIZACION | | | | |
| Este objetivo tiene como propósito analizar y evaluar la forma en que se desarrolla actualmente el manejo de las rutas y su incidencia en el servicio a los clientes. Así mismo, se establece cuáles son los problemas que están afectando el enrutamiento priorizándolos y determinando las causas que los producen | | | | |
| ACTIVIDADES | | | | |
| Recolectar a través de la observación directa la mayor información sobre los diferentes problemas que se presentan y las causas que lo producen. | Darle validez, posteriormente, a la información con la realización de una encuesta a los especialistas que realizan el servicio médico domiciliario. | Recolectar a través de la observación directa la mayor información sobre los diferentes problemas que se presentan y las causas que lo producen. Darle validez, posteriormente, a la información con la realización de una encuesta a los especialistas que realizan el servicio médico domiciliario. •En este punto es importante hacer un análisis juicioso del sistema y la manera de operarlo | | |
| METODOLOGÍA | | | | |
| •Definir periodos de observación en los nodos más importantes del proceso. | •Desarrollar un cuestionario acorde a las características del sistema y a los requerimientos, funciones y capacidades de los especialistas. | •Desarrollar un diagrama de flujo de la forma en que se presta el servicio médico domiciliario. | •Construir el diagrama de espina de pescado para identificar las causas que producen el problema principal. | •Construir el árbol de problemas. |
| TECNICAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS | | | | |
| •Periodos de observación. | •Cuestionario con preguntas cerradas para los especialistas del servicio médico domiciliario. | •Entrevistas complementarias | | |

Tabla 6

Marco Lógico de Investigación. Segundo Objetivo

| OBJETIVO ESPÉCIFICO | | | | |
|--|---|--|---|--|
| Describir las principales variables críticas relevantes y las restricciones que hacen parte del sistema logístico de la empresa, las cuales son fundamentales para desarrollar la Heurística del vecino más cercano en el problema VRP | | | | |
| CONCEPTUALIZACION | | | | |
| Este es uno de los objetivos más importantes del proyecto ya que a partir de él se determinan las principales variables críticas relevantes que es necesario intervenir para construir un problema matemático que mejore el sistema de ruteo en la clínica nueva Rafael Uribe Uribe, teniendo en cuenta la función a minimizar y las diferentes restricciones. | | | | |
| ACTIVIDADES | | | | |
| •Clasificar las variables que impactan el problema, identificando aquellas que por sus características e impacto en el sistema deben ser intervenidas. | •A partir de las variables críticas relevantes definir las restricciones del sistema y establecer su impacto dentro del sistema actual. | •Adelantar una zonificación de la ciudad de acuerdo a los requerimientos de la clínica, identificando las diferentes comunas que las conforman | •Establecer el tiempo programado de recorrido de la clínica al cliente y entre los diferentes clientes. | •Desarrollar tablas matriciales donde se clasifiquen las diferentes variables relevantes, de acuerdo a su capacidad de afectación en el sistema. |
| METODOLOGÍA | | | | |
| •Listar las variables que intervienen en el problema de ruteo, clasificándolas y determinando su frecuencia. | •Darle importancia en el cuestionario de preguntas a los especialistas a las variables identificadas como críticas, para conocer su percepción sobre ellas. | •Establecer la forma en que se deben manejarse en el problema matemáticos | | |
| TECNICAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS | | | | |
| •Análisis del sistema. | •Evaluación de las variables. | •Incluir preguntas relacionadas con el cuestionario. | •Establecer incidencia de las variables en las diferentes restricciones y función objetivo. | |

Tabla 7

Marco Lógico de Investigación. Tercer Objetivo

| OBJETIVO ESPÉCIFICO | | | | |
|---|--|--|---|--|
| Aplicar un problema matemático que permita, solucionar el problema clásico de ruteo (VRP), utilizando para ello la Heurística del vecino más cercano (paciente). | | | | |
| CONCEPTUALIZACION | | | | |
| <p>Teniendo en cuenta los problemas que se presentan en el sistema de ruteo, así como las variables criticar relevantes que afectan el mismo, se diseña con base en el problema heurístico del vecino más cercano un problema matemático que incluya la función objetivo y las restricciones.</p> <p>Para posteriormente adelantar las diferentes interacciones que llevan a definir el número de rutas necesarias, así como los tiempos empleados.</p> | | | | |
| ACTIVIDADES | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> •Clasificar las •Adelantar la codificación para desarrollar el problema. | <ul style="list-style-type: none"> • Definir las variables criticar relevantes. | <ul style="list-style-type: none"> •Formular la función objetivo a minimizar. | <ul style="list-style-type: none"> •Establecer las diferentes restricciones | <ul style="list-style-type: none"> •Adelantar las diferentes interacciones partiendo de la matriz inicial, hasta llegar a la matriz considerada como optima en ese momento. |
| METODOLOGÍA | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> •Estudiar y analizar diferentes codificaciones de otros programas y proyectos similares. | <ul style="list-style-type: none"> •Estudiar y analizar diferentes codificaciones de otros programas y proyectos similares. | <ul style="list-style-type: none"> •Con base en la codificación establecida plantear la formulación matemática. | <ul style="list-style-type: none"> •De la misma manera utilizando los diferentes códigos plantear la función objetivo y la restricción de los problemas. | |
| TECNICAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> •Estudiar y analizar literatura sobre el problema. | <ul style="list-style-type: none"> •Buscar la opinión de expertos en la programación lineal. | <ul style="list-style-type: none"> •Leer y analizar tesis de proyectos similares. | | |

Tabla 8

Marco Lógico de Investigación. Cuarto Objetivo

| | | |
|---|---|--|
| OBJETIVO ESPÉCIFICO | | |
| Analizar la relación costo beneficio de la propuesta de ruteo para la Clínica nueva Rafael Uribe Uribe. | | |
| CONCEPTUALIZACION | | |
| Analizar la relación costo beneficio de la propuesta de ruteo para la Clínica nueva Rafael Uribe Uribe. Conceptualización Este objetivo tiene como propósito determinar si existe una relación positiva entre los beneficios que conlleva la propuesta y los costos en que se incurre. Esto hace parte de la viabilidad del proyecto. | | |
| ACTIVIDADES | | |
| •Con base en la distancia y el tiempo utilizado, asumiendo un costo unitario por minuto, se determina el costo total de cada ruta. | •Este costo total se compara con los costos en que se incurre hasta el momento. | •Establecer la forma en que se deben manejarse en el problema matemático •En este punto es necesario tener en cuenta, aplicando un factor, los beneficios sociales y humanos que presenta el proyecto tanto para los clientes como para las especialidades. |
| METODOLOGÍA | | |
| •Análisis financiero. | •Análisis de responsabilidad social con los pacientes | |
| TECNICAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS | | |
| • Análisis de costos. | •Tablas de interés e indicadores de rentabilidad | |

Manejo Actual de las Rutas Médicas de la Clínica Nueva Rafael Uribe Uribe.

Actualmente existe un manejo empírico de las rutas médicas domiciliarias de la clínica. Este tipo de método para desarrollar el ruteo en la entidad de salud es y ha sido poco ordenado y con una falta de organización causante de sobre costos e incumplimientos en los tiempos en que se debe prestar el servicio. El concepto de justo a tiempo no se ha tenido en cuenta hasta el momento y esto se debe a que el personal encargado del transporte no está lo suficientemente capacitado para adelantar el trabajo y no posee un conocimiento específico sobre la manera en que se debe adelantar un problema logístico de transporte.

Para cubrir las rutas que hacen parte del mapeo programado de la ciudad, se utilizan cinco (5) vehículos tipo van, que son asignados, a criterio del programador, a cada una de las rutas de acuerdo a la necesidad de atención de los usuarios. En este sentido la ciudad ha sido dividida en cinco (5) zonas, un vehículo para cada zona, que son:

1. La zona norte, la zona más cercana a la clínica conformada por cuatro (4) comunas de la ciudad (3,4,5 y 6)
2. La zona oriente, la más extensa, está conformada por siete (7) comunas de la ciudad (7 ,12,13, 14, 15,16 y 21)
3. La zona sur, la zona más alejada de la clínica, está conformada por cinco (5) comunas de la ciudad (17,18,19,20,22).
4. La zona centro es la segunda zona más cercana a la clínica, está conformada por cuatro (4) comunas de la ciudad (8, 9,10 y 11)
5. La zona occidente es la más pequeña de las zonas, se caracteriza por ser parte montañosa, está conformada por tres (3) comunas de la ciudad (1, 2 y 4).

A continuación, se muestra el mapa de la ciudad de Santiago de Cali, donde se representan las cinco (5) zonas en las que la clínica dividió la ciudad para adelantar sus operaciones de ruteo y de atención domiciliaria.

Figura 7

Mapa de Santiago de Cali Dividido en Cinco Zonas



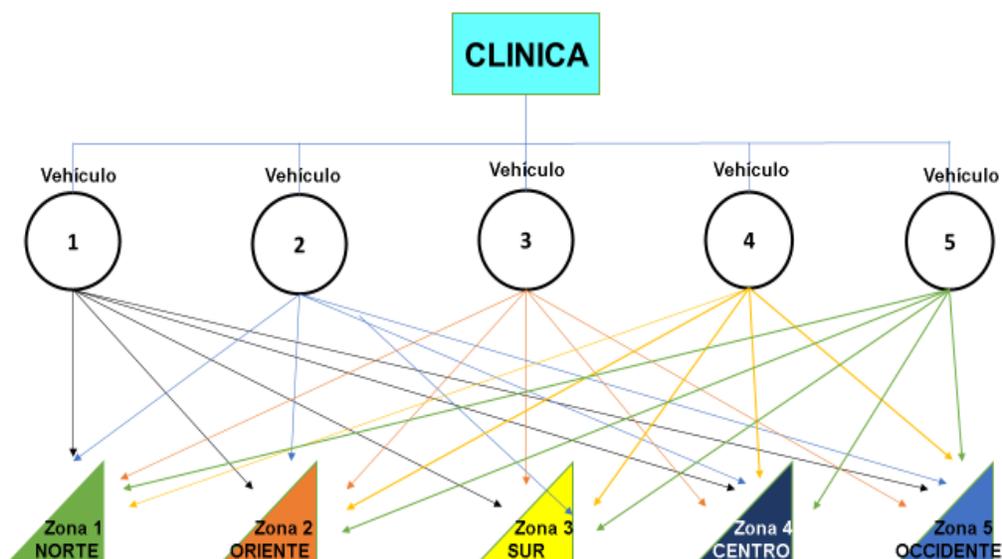
Nota. Adaptado al mapa de la ciudad de Santiago de Cali, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021, Google mapas.

Cada uno de los vehículos tiene asignado un grupo de profesionales de acuerdo al tipo de atención programada para esa ruta, que en términos específicos son: vacunación, visita médica programada, toma de muestras, curaciones, cambios de sonda, terapia física programada, terapia de fonoaudiología programada, terapia respiratoria programada, trabajo social, trabajo

ocupacional, nutrición, trabajo psicológico y a partir de la pandemia se brinda una nueva atención que es la toma de pruebas Covid-19. En la figura 8 se muestra El Diagrama de distribución de rutas por vehículos y zonas, cada vehículo debe ir a las cinco zonas de la ciudad no hay preferencia, de esta manera todos los conductores aprenden a conocer toda la ciudad y pueden ayudar en el mejoramiento de las rutas con la inclusión de nuevos pacientes que llegan al servicio.

Figura 8

Diagrama de Distribución de Rutas por Vehículos y Zonas.



Nota. Diseño propio, clínica nueve Rafael Uribe Uribe, 2021.

Como puede verse en el diagrama anterior todos los vehículos están en capacidad de cubrir todas las zonas indistintamente, es decir, no existe un vehículo asignado para cada zona, por lo cual la totalidad de los vehículos debe estar disponible para cubrir la zona que se especifique en la programación. Cabe anotar que un vehículo puede ir a dos o tres zonas de la

ciudad en una misma ruta ya que no siempre los pacientes asignados a un tipo de ruta se encuentran específicamente en esa zona, esto suele ocurrir casi siempre a fin de mes. Los vehículos como las rutas deben cumplir las restricciones asignadas. Para el cubrimiento de cada una de las zonas se utiliza en el diagrama un color específico para ser diferenciadas. Actualmente son cinco (5) vehículos para cinco zonas.

Cabe anotar que en el planteamiento del problema se menciona que dos o más trabajadores de diferentes ramas de atención de salud se desplazan en los vehículos, debemos resaltar que con relación al tipo de atención que se requiere en la ruta, los vehículos llevan el personal adecuado para brindarla y los instrumentos necesarios requeridos para el tipo de servicio que será prestado. Es así como en un vehículo pueden ir diferentes profesionales de la salud, distintos a los que se desplazan en otro vehículo, o del mismo servicio pero que se envían a otra zona de la ciudad, por ejemplo:

El vehículo uno (1) es programado para la ruta zona norte, asignándole un médico y un profesional de trabajo social.

El vehículo dos (2) es programado para la ruta zona sur, asignándole un terapeuta en el campo de la fonoaudiología y otro de terapia física.

El vehículo tres (3) es programado para la ruta zona oriente, inicialmente con muestras de laboratorio, una vez acabada esta labor el vehículo se reasigna para atender pacientes que necesiten de curaciones o pacientes con requerimiento prioritario, sin importar la zona en la que se encuentre. Es de anotar que esta situación se presente pocas veces dado que no son muchos los pacientes que requieran este tipo de servicio.

El vehículo cuatro (4) es programado para la ruta zona centro, con visita médica y terapia física. En este caso es necesario tener en cuenta que la visita médica será prestada por otro médico distinto al profesional utilizado en la ruta uno, ya que se dirige a una zona diferente de la ciudad.

Por último, el vehículo cinco (5) es programado para la ruta de nutrición, terapia respiratoria o curaciones de la jefa de enterostomía. Estos profesionales pueden desplazarse bien sea juntos o con otro profesional como puede ser un terapeuta físico, un fonoaudiólogo o un médico.

Y así sucesivamente se combinan varios profesionales para prestar diferentes servicios, según las condiciones físicas de los pacientes, que han sido registrados en la historia clínica y son usados como indicador para establecer qué tipo de profesional va en cada ruta. Ahora bien, todos los vehículos salen en el horario asignado. Los primeros en salir, 6 a.m., son los de toma de muestras y pruebas Covid-19, los demás servicios parten a las 7 a.m., con los instrumentos necesarios y requeridos para el tipo de asistencia médica.

El tipo de servicio de salud prestado en cada una de las rutas es el mismo para todos los pacientes, por lo tanto, los profesionales asignados a esa ruta, están preparados para llevar a cabo este tipo de servicio. Por lo general no se prestan servicios en salud diferentes al que este asignado a cada uno de los profesionales. Este es posiblemente el único sentido en el que existe una organización en el servicio prestado. Es de anotar, que, si el servicio domiciliario en una determinada ruta termina en un lapso de tiempo menor al asignado, el vehículo puede ser utilizado para cubrir otra ruta.

Dentro de este contexto es importante mencionar a los profesionales encargados de prestar el servicio de salud en cada una de las rutas, teniendo en cuenta que no todos salen al mismo tiempo, sino que su salida depende del servicio en salud a brindar, son:

- ✓ Un (1) Médico geriatra
- ✓ Seis (6) Médicos
- ✓ Siete (7) terapeutas en diferentes especializaciones: Fisioterapeuta, terapeuta fonoaudiólogo, terapeuta respiratorio y terapeuta ocupacional.
- ✓ Dos (2) trabajadoras sociales
- ✓ Un (1) psicólogo
- ✓ Una (1) nutricionista
- ✓ Dos (2) enfermeras jefas
- ✓ Una (1) auxiliar en enfermería

Es importante tener en cuenta que un vehículo asignado a una determinada ruta puede llevar mínimo un (1) profesional de la salud y máximo cuatro (4) profesionales. Por ejemplo:

La auxiliar de enfermería sale a toma de muestras en un vehículo asignado para ella, como este tipo de servicio requiere que los pacientes se encuentren en ayuno, es vital que la profesional se desplace sola porque su labor así lo requiere y el paciente programado necesita ser visitado en el menor tiempo posible para no fatigarse o sentirse mal.

Una ruta asignada con cuatro (4) profesionales puede transportar un médico, un terapeuta físico, un terapeuta fonoaudiólogo y una enfermera jefe como soporte para este tipo de servicio, así se completa la frecuencia de los servicios que se prestan al paciente durante el mes.

En este sentido un vehículo asignado a una ruta solo podrá llevar un (1) médico, que prestará sus servicios a todos los pacientes de dicha ruta, cuando este se requiera, ya que para

una determinada ruta puede que no sea necesaria la atención médica. Además del médico si es necesario, las visitas médicas van acompañadas de un terapeuta bien sea físico, fonoaudiólogo o respiratorio, o si se requiere de dos (2) terapeutas de diferentes áreas o si es el caso de los tres (3), cuando en una ruta se requiere el servicio en las tres áreas al mismo tiempo.

Es de anotar, que en algunas oportunidades la prestación de la atención en salud en una ruta determinada con visita médica, va acompañada de una jefa de enfermería la cual sirve como apoyo al profesional en medicina. La función de la enfermera jefe es la de dar información a los familiares del paciente sobre el estado de salud y la atención que le brinda el medico a este. Es necesario tener en cuenta que la enfermera jefa solo acompañara la ruta si en esta va el servicio médico, de lo contrario no.

Otro aspecto importante de los profesionales asignado a cada una de las rutas es el acompañamiento de una nutricionista. Esta profesional no requiere de ninguna restricción para ser seleccionada como parte del grupo que sale a cumplir una determinada ruta; es decir puede hacer parte del grupo de profesionales asignados a las diferentes rutas, bien sean médicos o de terapeutas. La función de la nutricionista es determinada únicamente por el médico, cuando este hace parte del grupo de profesionales asignados a una ruta específica. Así mismo, la nutricionista puede hacer parte de una ruta donde solo vayan terapeutas (de diferentes campos); en este caso a la nutricionista ya se le han asignado con anterioridad los pacientes que debe atender. Ahora bien, la nutricionista puede, en algunos casos, desplazarse sola en una ruta para atender a pacientes seleccionados.

Otra profesional que hace parte del colectivo de los profesionales que prestan el servicio médico domiciliario es la trabajadora social. Al igual que la nutricionista no tiene restricciones para realizar su función, esta profesional hará parte del colectivo de profesionales cuando se presenten problemas dentro del grupo familiar del paciente, por lo cual, para desempeñar su labor como trabajadora social puede ir acompañada del médico, del terapeuta o terapeutas y de la nutricionista. En este aspecto puede estar acompañada de solo uno de los profesionales anteriores o hacer parte de un grupo de los mismos. Así mismo, en determinados casos puede desplazarse sola en una ruta asignada por el programador.

En este orden de ideas es necesario mencionar la jefa de Enterostomía (Enfermera Profesional). Este profesional de la salud no hace parte directa del grupo que prestan el servicio médico domiciliario. Es una profesional que hace parte el staff de la clínica donde tiene su propio jefe, al cual rinde cuentas. Por orden de esta presta apoyo como enfermera de curaciones de enterostomía y su labor depende del médico, ya que es él quien le asigna los pacientes que requieren de sus servicios. Por esta razón, se desplaza en uno de los vehículos asignados al colectivo acompañada de su propia auxiliar de enfermería. En ningún momento hará parte del grupo que integra las rutas programadas diariamente.

La auxiliar de enfermería se encarga de la toma de muestras de los pacientes, los cuales son programados por ella misma. Es la encargada de programar sus rutas de acuerdo a la ubicación de los usuarios y de la necesidad de los mismos. Así mismo es la única profesional que siempre sale sola y con exclusividad del vehículo; su horario de atención es diferente a la de los otros profesionales en salud, debido a que por su labor comienza a tempranas horas del día, una

vez que termina su ruta regresa a la clínica y la mayoría de las veces después de facturar las muestras, entregándolas al laboratorio, sale nuevamente a atender pacientes en sus domicilios, especialmente con lo relacionado con los cambios de sondas y curaciones básicas, que han sido asignadas con anterioridad por la jefa de enterostomía que además es la encargada de brindar capacitación a la auxiliar de enfermería. Los días que la auxiliar no hace uso del vehículo para este tipo de curaciones u otras actividades, este es asignado a una nueva ruta con algún terapeuta, enfermero jefe o profesional que requiera su uso.

Ahora bien, dada la emergencia sanitaria mundial que se presentada en el país y en el mundo entero a raíz de la pandemia ocasionada por el coronavirus, este año se programó el vehículo dos veces por semana para la toma de la muestra Covid-19, esta labor es realizada por una terapeuta que ha sido capacitada para ello, utilizando todas las medidas de bioseguridad para realizar su función.

En algunas oportunidades (por lo general cada 15 días), se requiere del servicio profesional de un psicólogo que hace parte del colectivo de profesionales que prestan el servicio domiciliario.

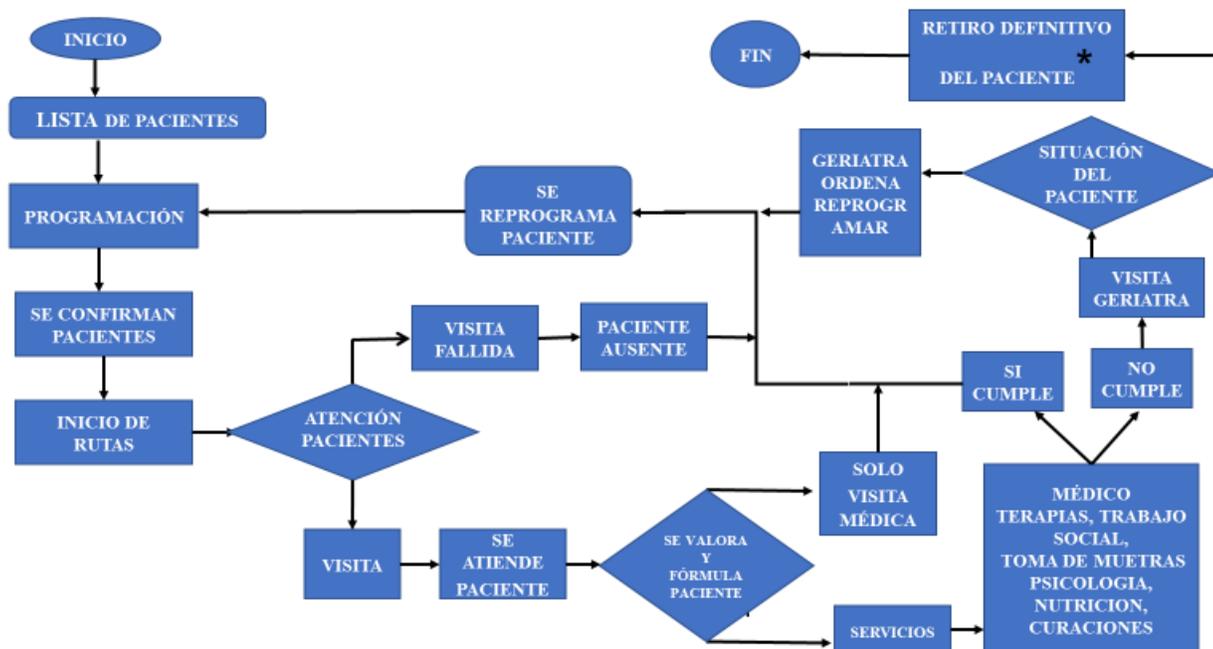
Al igual que la auxiliar de enfermería se desplaza solo en un vehículo de acuerdo a una ruta con un número de pacientes asignados por la clínica, debido a la necesidad que tienen de tratamiento psicológico. Este profesional puede prestar atención psicológica a pacientes que se encuentran ubicados con mayor dispersión que los pacientes necesitados de atención médica domiciliaria.

En la figura 9 se presenta el diagrama correspondiente al proceso de cómo funciona la prestación de servicio médico domiciliario que se lleva a cabo en la clínica Nueva Rafael Uribe Uribe. Este proceso cubre todos los aspectos que hacen parte del él, muestra desde su inicio un listado de pacientes que llegan remitidos de la nueva eps, que es la entidad que se encarga de asignarlos, así es como se inicia la primera etapa, luego se pasa a la programación de estos pacientes, seguidamente se integran a las rutas ya establecidas por la clínica, para ser visitados por el médico, quien los valora y debe decidir qué clase de tratamiento recibirá el paciente, los seguimientos y emitirá la orden de valoración por terapia, en donde ya cada profesional de las diferentes ramas visitara al paciente y emitirá su concepto de si el usuario necesita de sus servicios o su condición física no amerita el tratamiento.

Incluyendo además los aspectos relacionados con el servicio de salud colaterales, que por su incidencia en el proceso con el paciente se hace necesario tratar, como son: el psicológico y trabajo social. En el diagrama se observa con claridad donde inicia el proceso y como nuevamente termina en su origen es decir en la clínica; lo cual es el principio fundamental de un problema VRP.

Figura 9

Diagrama de Flujo del Proceso de cómo se Lleva a Cabo la Atención Médica Domiciliaria.



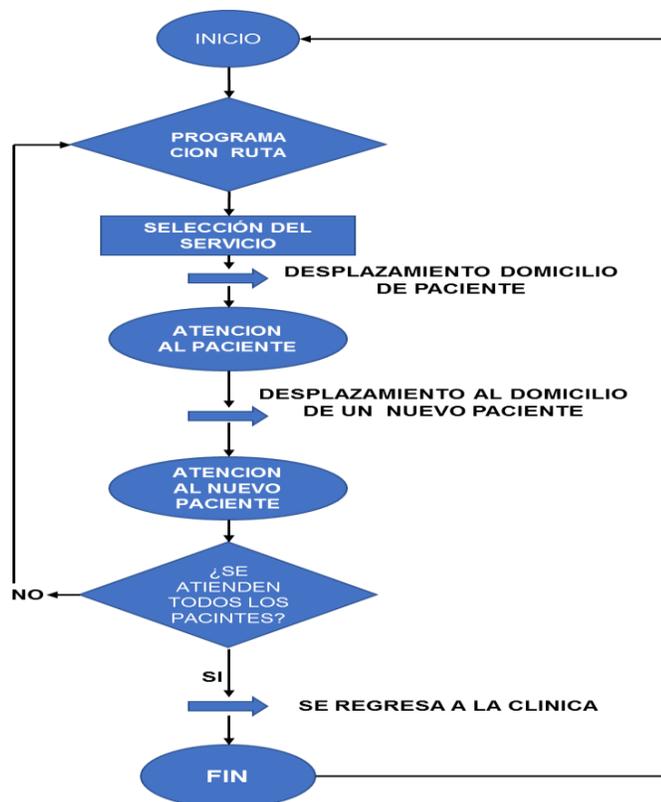
Nota. Diseño propio del autor, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021.

* El retiro definitivo del paciente se puede dar por tres (3) aspectos: Decisión del geriatra, decisión de la clínica o decisión del propio paciente.

Dentro de este mismo contexto, se presenta el diagrama de flujo especializado para el servicio médico domiciliario, el cual representa como se maneja en estos momentos la programación del ruteo a partir del momento en que el vehículo parte de la clínica desplazándose hacia el primer paciente escogido para iniciar la ruta, si el paciente es atendido positivamente, se continua con el segundo paciente y así sucesivamente hasta terminar todos los pacientes que hacen parte de dicha ruta y se visualiza que si en el proceso por algún motivo ajeno al mismo proceso un paciente no es atendido, este es dejado para ser reprogramado y se atenderá en una nueva visita. Teniendo en cuenta, en este caso, que el servicio médico domiciliario termina nuevamente en la clínica.

Figura 10

Diagrama Proceso de la Atención Domiciliaria al Paciente para las Cinco Rutas.



Nota. Diseño propio del autor, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021.

VRP (vehicule routing problem)

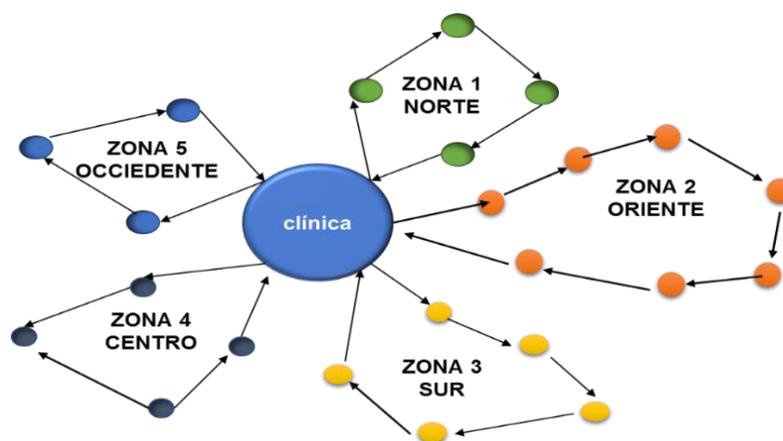
Este problema establece que los vehículos parten de un depósito (clínica), realizan su recorrido y regresan a su origen(clínica). Por esta razón, se ha tomado dicho sistema para determinar los recorridos de las rutas medicas domiciliarias de la clínica Nueva Rafael Uribe Uribe, con el propósito de determinar su desplazamiento en la ciudad de Santiago de Cali, ubicando geográficamente a los pacientes en sus respectivos domicilios, precisando en que zona se encuentra, para de esta manera observar que tipo de atención médica está recibiendo el

paciente y la frecuencia del mismo. Esto va a permitir organizar a los usuarios en sus respectivas zonas con el fin de establecer la ruta que mejor cumpla con el servicio médico, teniendo en cuenta las restricciones del programa y el alcance de los objetivos planteados.

La figura 11 muestra a la clínica nueva Rafael Uribe Uribe como depósito, tomándose a la misma como el origen y el final del proceso. Se busca que las rutas alcancen un desplazamiento corto entre paciente y paciente para obtener el menor tiempo de traslado, por lo cual son ubicados los pacientes en zonas, para acortar las distancias entre ellos y permitir que los especialistas puedan brindar un servicio óptimo de atención con un tiempo preciso y acorde a los estándares de calidad.

Figura 11

Esquema VRP aplicado al servicio médico domiciliario



Nota. Diseño propio del autor, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021.

La siguiente tabla muestra los tiempos de la ruta más corta de la zona uno (1) norte de la ciudad de Santiago de Cali, los domicilios más próximos a la clínica (depósito) los pacientes más cercanos entre ellos y unos desplazamientos mínimos. Estos tiempos se han representado en una tabla para identificar los nodos que más tarde serán utilizados por la herramienta solver para resolver la ruta crítica.

Tabla 9

La Ruta más Corta

| Zona | Dirección | Barrio | Tiempo de desplazamiento |
|------|----------------------------------|-------------|--------------------------|
| 4 | CLINICA Calle 25N # 2B-17 | San Vicente | 0.0 |
| 1 | Carrera 1a 13 # 70-76 | San Luis | 26 |
| 1 | Calle 73 # 1 a 10 -14 | San Luis | 7 |
| 1 | Carrera. 1a 13 # 71-100 | San Luis | 6 |
| 1 | Carrera 1a 13 # 73-44 | San Luis | 4 |
| 1 | Carrera 1b 2 # 72-36 | San Luis | 6 |
| 1 | Calle 73 # 1c 1-12 | San Luis | 8 |
| 1 | Carrera 2d # 72-118 | Gaitán | 8 |
| 1 | Carrera 1c # 77-21 | Petecuy | 11 |
| 1 | Carrera 1c # 77-25 | Petecuy | 2 |
| 1 | Calle 72c # 1a3 -69 | San Luisito | 9 |
| 1 | Calle 70 bis norte # 4cn-103 | Guaduales | 9 |
| 1 | Calle 71 a # 8N-63 | Guaduales | 5 |
| 4 | CLINICA Calle 25N # 2B-17 | San Vicente | 28 |

Nota. Diseño propio del autor, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021.

Función Objetivo y Principales Variables Críticas Relevantes y las Restricciones que Haciendo Parte del Sistema Logístico de la Clínica, son Fundamentales para Desarrollar la Heurística del Vecino más Cercano en el Problema VRP.

La Heurística del Vecino más Cercano

El algoritmo de vecino más cercano genera rutas uniendo vértices o puntos, teniendo en cuenta la menor arista o distancia euclidiana de un punto a los demás puntos, esta secuencia de inserción de puntos, inicia desde el depósito, incorporando el punto más cercano, después de ser incluido se inicia la búsqueda del siguiente punto a ser incluido, con la menor distancia al anterior punto incluido (Micó Andrés, 1996), (Contreras P. & Díaz D., 2010) (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 20).

Para la clínica nueva Rafael Uribe Uribe se incorporó los domicilios de los pacientes como los puntos para unir los vértices entre ellos, localizándolos geográficamente, acomodándolos por comunas, a fin de llevar una secuencia entre ellos y acortar las distancias entre paciente y paciente, para lograr así una menor distancia en las rutas, un menor tiempo en el desplazamiento, con el propósito de mejorar la atención del servicio domiciliario, de ese modo se le brinda al profesional la oportunidad de que disfrute de continuidad en su desempeño y se le asegura al paciente un tiempo real de consulta médica.

Se busca iniciar el recorrido seleccionando la menor distancia desde la clínica (deposito) hasta el primer paciente con el fin de minimizar el tiempo de desplazamiento y crear una matriz

que lleve un flujo continuo entre las rutas y en su base de datos quede un historial que sirva como fuente para seguir repitiendo un proceso continuo en la programación de las rutas.

Las principales variables críticas que observamos en estos momentos dependen de la programación de las rutas por el factor tiempo, y la determinamos por el traslado entre los pacientes y la ubicación de los mismo, además de esto se debe tener en cuenta que el programador no es un especialista en el tema, es un empírico que hace su trabajo basado en sus conocimientos de la ciudad y se apoya en Google maps como herramienta para ubicarse en la ciudad , dejando de un lado el ordenamiento logístico que debe de primar para poder acortar las distancias entre los usuarios, para así economizar tiempo de desplazamiento entre domicilios de paciente a paciente y que el tiempo de atención sea menor o igual al tiempo que obtiene un paciente al solicitar una cita médica en un consultorio, en una clínica o IPS. Para que la visita no esté limitada por el este factor y podamos resolver por el método matemático exacto; de no menos de 450 clientes, logrando así una tasa de éxito variable.

Variables Críticas Relevantes

Las siguientes variables son restricciones establecidas por la clínica, así como por la disponibilidad de los profesionales, la localización de los pacientes y la velocidad de desplazamiento. Se quiere llegar a definir la ruta más corta o ruta crítica que permita determinar el menor costo para un recorrido y de esta manera ir calculándolo para los demás recorridos.

1. **Tiempo:** Según la real academia española se define como, magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro, y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo.

En nuestro estudio el tiempo es la variable más importante a tratar, ya que de ella depende la optimización del sistema. Para cada una de las rutas la variable tiempo presenta el siguiente manejo:

- El tiempo depende de la distancia recorrida y de la velocidad de desplazamiento del vehículo. (tiempo = $T = \text{Distancia} / \text{Velocidad}$)
- A mayor velocidad de recorrido menos tiempo de desplazamiento y viceversa.
- El tiempo depende de la velocidad de desplazamiento del vehículo por lo que se asigna la permitida, 60 km por hora.

Los tiempos a tener en cuenta son:

- El tiempo de traslado desde su origen (clínica), hasta llegar donde el primer paciente programado para el servicio.
- El tiempo que transcurre entre los desplazamientos de un paciente a otro.
- El tiempo de regreso desde el último paciente atendido hasta su origen (clínica) nuevamente.
- El tiempo total es la suma de los tiempos anteriores
- El tiempo de atención de cada profesional según la atención que brinda, el cual está fijado en un tiempo máximo sea cual fuere el profesional que presta el servicio.
- Habrá pacientes con márgenes de atención más cortos, esto depende de la hora de llegada al domicilio, ya que muchas veces los pacientes no se levantan a tempranas horas y otras veces por sus patologías, se encuentran delicados de salud.

- El tiempo total de ruta es igual a la suma de los desplazamientos más los tiempos de atención de cada profesional.
- El tiempo de desplazamiento en las cinco (5) zonas en las que se distribuyó la ciudad, arrojará un tiempo diferente desde su origen hasta el primer paciente, y viceversa, el tiempo de regreso del último paciente al origen, será igualmente distinto en las cinco zonas.
- El tiempo depende de factores externos como son: clima, carreteras, horas pico, cantidad de profesionales en la ruta, ubicación, direcciones y disposición del paciente.

2. ***Distancia:*** la distancia entre dos puntos es la longitud del camino más corto entre ambos. (definición abc.com)

La distancia se convierte en la segunda variable, el tiempo dependerá de ella. La distancia más que una variable es un parámetro, ya que permanece constante sea cual fuere la velocidad o el tiempo. En este sentido, el desplazamiento (medido en términos de distancia) se comienza a medir a partir del momento en el que el vehículo inicia su recorrido saliendo de la clínica (deposito) para llegar al domicilio del primer paciente programado. Cuando este arriba a la residencia del paciente transcurre un tiempo que se le suma al tiempo que demora el especialista en realizar su consulta. Posteriormente, a partir del domicilio de este paciente, se inicia un nuevo desplazamiento hacia la residencia de otro paciente, donde se prestará una nueva atención domiciliaria en ese domicilio y así sucesivamente hasta terminar con la totalidad de todos los pacientes programados, al finalizar cada una de las rutas se calculará la distancia total recorrida por ruta, lo cual incluye las distancias entre los diferentes pacientes, la distancia desde el origen al primer paciente y la distancia desde el último paciente atendido hasta el origen nuevamente. Para esta propuesta la distancia presenta las siguientes connotaciones:

- Distancia del origen, clínica, hasta el primer paciente programado.
 - Distancias recorridas para llegar de un paciente a otro.
 - Distancia desde el último paciente programado hasta el origen nuevamente.
 - Distancia total = \sum de las distancias anteriores.
 - Las distancias totales de las cinco (5) zonas en que se distribuyó la ciudad serán diferentes, debido a que su tamaño varío.
- La Distancia (en términos de desplazamiento) depende de la distribución que se haga de los pacientes en las zonas de la ciudad.
 - La distancia a recorrer será mayor si los pacientes no son programados de acuerdo a la zona de la ciudad y la ubicación de la misma.
 - Las distancias son mayores dependiendo del servicio médico domiciliario que se preste al paciente, en este caso se encuentran: jefa de enterostomía (Teo), laboratorios o curaciones, psicología, nutrición, terapia de trabajo social, terapia ocupacional, esto se debe a que estos servicios no son propios de todos los pacientes, sino de algunos por lo que sus rutas presentan distancias más largas entre domicilios de los usuarios.
 - La distancia en términos de desplazamiento depende de factores externos como son: horas pico (desvíos), obras en la vía, ubicación de los domicilios, debido a que el conductor del vehículo puede verse obligado a buscar desviaciones para llegar a su destino.
3. **Velocidad:** Relación que se establece entre el espacio o la distancia que recorre un objeto y el tiempo que invierte en ello.
- La velocidad es una variable que interviene directamente en el tiempo, ya que este depende de la primera.

➤ Cuando la velocidad se calcula en términos de velocidad promedio se convierte en un parámetro.

$$30 \text{ km/h} \geq V_c: \leq 60 \text{ Km/h}$$

➤ Dado que para realizar los cálculos matemáticos la velocidad debe de ser la misma durante todo el recorrido, desde que inicia del origen (clínica) hasta que regresa al mismo, esto incluye traslado entre domicilios. Esta velocidad promedio se aplica para todas las rutas que se establezcan.

➤ Si el vehículo se desplaza a una velocidad promedio, no habrá demoras en arribos a domicilios de los pacientes.

4. **Costo:** Es el valor monetario de los consumos de factores que supone el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien, servicio o actividad. En el proyecto el costo representa la inversión monetaria que la nueva eps ha destinado a la clínica nueva Rafael Uribe Uribe para desarrollar el programa de atención domiciliaria a pacientes pluripatológicos.

Fundamentos para Desarrollar el Problema VRP

Con el VRP se busca determinar que parte de la división a la cual se somete la ciudad para crear las rutas (norte, sur, oriente, occidente y centro) son las que arrojan un menor costo y brindan la mayor utilidad del vehículo que transporta a los profesionales, entre domicilio y domicilio de los pacientes y que tipo de ellos se encuentran más dispersos geográficamente. Por lo que cada usuario posee una demanda que debe ser satisfecha por el servicio domiciliario con cinco (5) vehículos, dispuestos para cubrir toda la agenda de pacientes del programa.

Cada una de las rutas inicia su recorrido en la clínica nueva Rafael Uribe Uribe, pasando de paciente en paciente, hasta completar un tope mínimo de 12 pacientes por rutas y al finalizar se regresa nuevamente a la clínica, siendo esta vista como el lugar de depósito (Toth & Vigo, 2002).

El problema generalmente tiene las siguientes características:

- ✓ En el periodo de un mes no se debe repetir la atención medica domiciliaria a ninguno de los pacientes.
- ✓ Todos los pacientes tienen derecho a todos los servicios según sus patologías.
- ✓ Los cinco (5) vehículos inician y terminan la prestación del servicio médico domiciliario en la clínica (origen del mismo).
- ✓ El tiempo total que se dedica a la atención de un paciente (20 min.) no debe exceder el tiempo total utilizado para la atención domiciliaria y el desplazamiento de los vehículos.
- ✓ El tiempo de ruta para cada vehículo de un paciente a otro debe ser menor o igual a la disponibilidad del tiempo total de ruta.
- ✓ Los vehículos pueden transportar a varios especialistas de la clínica, pero solo uno por área de servicio.
- ✓ El médico, la enfermera auxiliar, el psicólogo y la jefa de enterostomía se desplazan solos en un vehículo.
- ✓ Los demás profesionales: terapeutas, nutricionista, enfermeros jefes y trabajadora social pueden desplazarse bien sea solos o en compañía de otros profesionales.

De acuerdo con lo anterior la función objetivo y las restricciones particulares para el problema son:

Función Objetivo: Minimizar el tiempo de servicios y el número de vehículos que se deben utilizar para mejorar la programación de las rutas médicas domiciliarias en la clínica nueva Rafael Uribe Uribe. Con esto se minimizan los costos.

Teniendo en cuenta las siguientes restricciones:

- ✓ Cada paciente debe ser atendido en un periodo de tiempo que no sobrepase los veinte (20) minutos.
- ✓ El tiempo total utilizado por cada una de las rutas para prestar el servicio médico domiciliario es de ocho (8) horas (7 a.m. a 3 p.m.), es decir cuatrocientos ochenta minutos (480).
- ✓ El número máximo de pacientes a atender en una ruta es de doce (12)
- ✓ El tiempo total de servicio para todos los pacientes (max.12) en cada ruta es de doscientos cuarenta minutos (240).
- ✓ El tiempo total utilizado por desplazamiento para cada una de las rutas es de doscientos cuarenta minutos (240).
- ✓ Los pacientes son notificados antes de ser atendidos para que se encuentren en sus domicilios.
- ✓ Los vehículos cuentan con un especialista de cada área de la salud y no llevan dos especialistas del mismo campo de la atención en la misma ruta.
- ✓ Si se presentan contratiempos durante el desplazamiento desde la clínica al domicilio del paciente, o del domicilio de un paciente a otro se resuelven en el campo por los conductores.
- ✓ El tiempo de atención depende del especialista en salud.
- ✓ El tiempo de desplazamiento entre domicilios de paciente a paciente depende del conductor.

- ✓ Los vehículos siempre deben comenzar ruta entre las seis (6) a.m. y las siete (7) a.m.
- ✓ Los pacientes solo son atendidos en el perímetro urbano de la ciudad de Santiago de Cali.

Tabla 10

Variantes del VRP.

| Variantes | Enfoque |
|-------------|---|
| VRP Clásico | El objetivo es encontrar un conjunto de rutas de mínimo costo, que salen del depósito entregan un subconjunto de clientes y regresan al depósito. |
| OVRP | Al finalizar la entrega, los vehículos no están obligados a volver al depósito. |
| COVRP | Es una variante del OVRP, donde además de no estar obligado a volver al depósito, tiene como restricción la capacidad del vehículo. CVRP Los Vehículos tienen una capacidad limitada. |
| CVRP | Los Vehículos tienen una capacidad limitada. |
| VRPTW | Con Ventanas de Tiempo, los clientes tienen asignado un intervalo de tiempo para ser atendidos. |
| VRPPD | Con Entrega y recogida, los clientes tienen la posibilidad de recibir y/o devolver bienes. |

| Variantes | Enfoque |
|-----------|--|
| SDVRP | Con Entrega Dividida, Donde se permite que un cliente pueda ser atendido por varios vehículos, su demanda excede la capacidad de un vehículo, ejemplo algunas constructoras son visitadas por varios camiones especializados para cargar concreto de construcción. |
| MDVRP | MDVRP Con Múltiples Depósitos, en este caso existen varios depósitos con una flota de vehículos independiente. |

Nota. Reproducida (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 13)

Diseñar un Problema Matemático que Permita, Solucionar el Problema Clásico de Ruteo (VRP), Utilizando para ello la Heurística del Vecino más Cercano (Paciente).

Formulación Matemática

La formulación matemática implícita en la heurística del vecino más cercano (paciente) es la siguientes:

N: Número de pacientes en cada una de las zonas $N \leq 12$

A= Conjunto de arcos (i, j)

X_i: Paciente ubicado en el nodo i

X_j: Paciente ubicado en el nodo j

C: Costo del galón de gasolina

C_{ij}: Costo de la gasolina del paciente i al paciente j

T_i: Tiempo total de ruta

T_{si}: Tiempo de servicio del paciente i

T_{sj}: Tiempo de servicio de paciente j

T_{máxap}: Tiempo máximo de atención a los pacientes ≤ 240

T_{máxd}: Tiempo máximo de desplazamiento ≤ 240

T_{Totalr}: Tiempo total de ruta es igual al tiempo máximo de atención al paciente (240)

más el tiempo máximo de desplazamiento del vehículo (240)

d_{ij}: Distancia del paciente i al paciente j

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T_{ij}$$

$$\text{Min} \sum_{i \in v}^N \sum_{j \in v}^N C_{ij} \sum_i^j dX_{ij}$$

Restricciones:

$$T_{si} \leq 20 \text{min. (tiempo de servicio al paciente } i)$$

$$T_{sj} \leq 20 \text{min. (tiempo de servicio al paciente } j)$$

$$T_{\text{máxr}} = 480 \text{ min.}$$

$$T_{\text{máxap}} = \sum_{(i,j)=1}^{(i,j)=12} T_{sij} \leq 240 \text{ min.}$$

$$T_{\text{máxd}} = \sum_{(i,j)=1}^{(i,j)=12} T_{dij} \leq 240 \text{ min.}$$

$$T_{\text{Total}} = \sum_{(i,j)=1}^{(i,j)=12} T_{sij} + \sum_{(i,j)=1}^{(i,j)=12} T_{dij} \leq 480 \text{ min}$$

Solución al Ruteo de Vehículos Programados para la Atención Médica Domiciliaria.

A partir de una ruta de atención médica domiciliaria buscamos dar claridad de cómo se puede resolver el problema de programación de las rutas, usando el método de la heurística del vecino más cercano para así observar el comportamiento de los tiempos de desplazamiento, de atención al usuario y los inconvenientes que se presentan en el proceso. Se elige una ruta de la

clínica en la cual los datos de los pacientes han sido omitidos porque no son necesarios como objeto de investigación, para el estudio se utilizan las direcciones de las residencias de los pacientes con el propósito de indicar la ubicación de cada uno de ellos, estos datos han sido consignado en una tabla que enseña el tiempo de desplazamiento, la tabla va descartando el tiempo del paciente visitado que se totaliza al tomar el tiempo laboral de ocho (8) horas de trabajo, a este, le restamos el tiempo que le tomo al conductor llegar al domicilio del paciente sumándole el tiempo que el profesional consume prestando el servicio y así a medida que vamos adicionando visitas entre paciente y paciente la tabla se va reduciendo porque:

1. Puede que se consuma el tiempo total en las visitas hasta quedar en cero.
2. Poder evidenciar el tiempo sobrante, del tiempo total, si se cumple con todas las visitas asignadas a la ruta.
3. Al agotar el tiempo total, se invierte más tiempo en desplazamiento entre domicilios, en atención al paciente por parte del profesional y como consecuencia se deberá proceder a reprogramar la visita.

Planteamiento VRP con la Heurística del Vecino más Cercano

La clínica nueva Rafael Uribe Uribe es una IPS dedicada a ofrecer y prestar servicios de atención médica domiciliaria a pacientes que por sus condiciones de movilidad y patologías están obligados a ser visitados en sus domicilios, llevando un tratamiento médico, con la finalidad de mejorar la condición física de salud del enfermo, haciendo un diagnóstico del estado en el que se encuentra el beneficiario, seguidamente establece un tratamiento que le permita al usuario continuar con una vida digna y sana.

Inicia labores en ruta a las 7:00 a.m. a partir de ese momento comienza a transcurrir el tiempo de desplazamiento que empieza a contabilizarse desde el origen (clínica) hasta el primer paciente, este tiempo se calcula en 26 minutos aproximadamente, según el siguiente ejemplo, que encontramos en la tabla 04 que representa la ruta más corta que corresponde a la zona uno (1) norte de la ciudad de Santiago de Cali, objeto del estudio.

Siempre se inicia el recorrido con el paciente que se encuentra ubicado más cerca de la clínica, cabe anotar que esta decisión es tomada en el momento por los conductores que prestan sus servicios de transporte y hacen parte del grupo del servicio médico domiciliario.

Sin embargo, existen excepciones tales como:

➤ El paciente en el momento de ser notificado telefónicamente de la visita, expresa que tiene algún inconveniente con el horario de la atención domiciliaria y se acuerda con el usuario o su familiar, una hora que se ajuste a su horario. Por lo general debe ser la primera visita a realizar o en otros casos se establece como la última consulta en efectuar.

➤ Paciente prioritario:

- por condiciones de salud no es posible desplazarlo
- El familiar no tiene los medios económicos para el traslado a urgencias.
- Se solicita la visita médica domiciliaria, siempre que el paciente no haya sido visitado en el mes, para escuchar el diagnóstico del médico del servicio debido a los requerimientos de urgencias en el país por el Covid 19.

De igual forma se establece un tiempo de servicio de la atención médica al paciente por parte del profesional de 20 minutos como mínimo. A continuación, se indica la tabla con los tiempos registrados en la ruta de la zona norte el día 16 de abril del 2021.

La tabla 11 representa la ruta más corta utilizada para el problema VRP, en ella se observan los datos reales de desplazamiento entre las visitas realizadas a los pacientes, con el fin encontrar el tiempo utilizado en la ruta.

Tabla 11

Ruta Zona uno (1) Norte de la Ciudad.

| Dirección | Barrio | Hora de ingreso a.m. | Hora de salida a.m. | Tiempo de servicio profesional en Min. | Tiempo de recorrido en Min. |
|----------------------------------|-------------|----------------------|---------------------|--|-----------------------------|
| CLINICA Calle 25N # 2B-17 | San Vicente | 6:30 | 7:00 | 0:00 | 0:00 |
| Carrera 1a 13 #70-76 | San Luis | 7:26 | 7:48 | 22 | 26 |
| Calle 73 # 1 a 10 -14 | San Luis | 7:55 | 7:18 | 23 | 7 |
| Carrera 1a 13 #71-100 | San Luis | 7:24 | 7:45 | 21 | 6 |
| Carrera 1a 13 #73-44 | San Luis | 7:49 | 8:11 | 22 | 4 |
| Carrera 1b 2 #72-36 | San Luis | 8:17 | 8:40 | 23 | 6 |
| Calle 73 #1c 1-12 | San Luis | 8:48 | 9:12 | 24 | 8 |
| Carrera 2d # 72-118 | Gaitán | 9:20 | 9:50 | 30 | 8 |
| Carrera 1c # 77-21 | Petecuy | 10:01 | 10:31 | 30 | 11 |
| Carrera 1c # 77-25 | Petecuy | 10:33 | 11:02 | 29 | 2 |
| Calle 72c # 1a3 -69 | San Luisito | 11:11 | 11:36 | 25 | 9 |
| Calle 70 bis norte # 4cn-103 | Guadales | 11:45 | 12:19 | 34 | 9 |
| Calle 71 a # 8N-63 | Guadales | 12:24 | 12:52 | 28 | 5 |
| CLINICA Calle 25N # 2B-17 | San Vicente | 1:20 | 0:00 | 0 | 28 |

Nota. Adaptada del formato original, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021.

La anterior tabla se usa para ser representada en la siguiente matriz (tabla 12) que busca explicar el planteamiento VRP del vecino más cercano, en ésta consignamos los tiempos de desplazamiento desde su depósito (clínica), con el fin de tomar estos tiempos y observar su comportamiento.

Tabla 12

Problema VRP de la Ruta más Corta.

| | Clínica | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Clínica | 0 | 26 | 33 | 32 | 30 | 32 | 34 | 34 | 37 | 28 | 35 | 33 | 31 | 33 |
| 1 | 26 | 0 | 7 | 13 | 17 | 23 | 31 | 39 | 50 | 52 | 61 | 70 | 75 | 80 |
| 2 | 33 | 7 | 0 | 6 | 10 | 16 | 24 | 32 | 43 | 45 | 54 | 63 | 68 | 73 |
| 3 | 32 | 13 | 6 | 0 | 4 | 10 | 18 | 26 | 37 | 39 | 48 | 57 | 62 | 67 |
| 4 | 30 | 17 | 10 | 4 | 0 | 6 | 14 | 22 | 33 | 35 | 44 | 53 | 58 | 63 |
| 5 | 32 | 23 | 16 | 10 | 6 | 0 | 8 | 16 | 27 | 29 | 38 | 47 | 52 | 57 |
| 6 | 34 | 31 | 24 | 18 | 14 | 8 | 0 | 8 | 19 | 21 | 30 | 39 | 44 | 49 |
| 7 | 34 | 39 | 32 | 26 | 22 | 16 | 8 | 0 | 11 | 13 | 22 | 31 | 36 | 41 |
| 8 | 37 | 50 | 43 | 37 | 33 | 27 | 19 | 11 | 0 | 2 | 11 | 20 | 25 | 30 |
| 9 | 28 | 52 | 45 | 39 | 35 | 29 | 21 | 13 | 2 | 0 | 9 | 18 | 23 | 51 |
| 10 | 35 | 61 | 54 | 48 | 44 | 38 | 30 | 22 | 11 | 9 | 0 | 9 | 14 | 42 |
| 11 | 33 | 70 | 63 | 57 | 53 | 47 | 39 | 31 | 20 | 18 | 9 | 0 | 5 | 33 |
| 12 | 31 | 75 | 68 | 62 | 58 | 52 | 44 | 36 | 25 | 23 | 14 | 5 | 0 | 28 |
| 13 | 33 | 80 | 73 | 67 | 63 | 57 | 49 | 41 | 30 | 51 | 42 | 33 | 28 | 0 |

Nota. Adaptada al VRP la ruta más corta, (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 23).

La tabla 12 muestra el menor tiempo de desplazamiento, el cual es de veintiséis (26) minutos desde la clínica hasta el primer paciente, que está ubicado en la columna uno (1) de la tabla. Se dispone del tiempo laboral de un turno de ocho horas (8) que equivalen a cuatrocientos ochenta (480) minutos. Divididos en doscientos cuarenta (240) minutos, equivalentes al total de tiempo que el vehículo utiliza en sus desplazamientos de ruta y doscientos cuarenta (240) minutos que pertenecen al tiempo para prestar el servicio médico.

Ahora restáremos el tiempo laboral cuatrocientos ochenta (480) minutos al tiempo de desplazamiento de la clínica al primer paciente, veintiséis (26) minutos al cual le sumaremos el tiempo de atención de servicio del profesional que es de veinte (20) minutos, así:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo total} &= 480 \text{ min.} - (26 \text{ min.} + 20 \text{ min.}) \\ &= 480 \text{ min} - 46 \text{ min.} = 434 \text{ min.} \end{aligned}$$

Cabe anotar que una vez es contabilizado el tiempo, desaparece tanto la fila uno (1) como la columna uno (1) de la tabla 9, como proceso de descarte.

Una vez hecho este procedimiento, procedemos a consignar en la tabla 13 los datos restantes de la tabla de tiempos para ir anotando la deducción del tiempo entre visitas al paciente las cuales están conformadas por el tiempo de desplazamiento del vehículo más el tiempo del profesional que presta el servicio de la siguiente manera:

Tabla 13

Comportamiento de Tiempos de la Tabla 12

| Origen | Tiempo total en min. | resta | Tiempo de desplazamiento en min. | suma | Tiempo de servicio en min | Tiempo restante en min. |
|-------------------|-----------------------------|--------------|---|-------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Clínica | 480 | - | 0 | + | 0 | 480 |
| Paciente 1 | 480 | - | 26 | + | 20 | 434 |
| Paciente 2 | 434 | - | 7 | + | 20 | 407 |
| Paciente 3 | 407 | - | 6 | + | 20 | 381 |
| Paciente 4 | 381 | - | 4 | + | 20 | 357 |
| Paciente 5 | 357 | - | 6 | + | 20 | 331 |
| Paciente 6 | 331 | - | 8 | + | 20 | 303 |
| Paciente 7 | 303 | - | 8 | + | 20 | 275 |

Nota. Diseño propio del autor, tiempos de la tabla 9, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021

Tabla 14

Representación de la Ruta más corta

| | Clínica | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------|---------|----|----|----|----|----|----|
| Clínica | 0 | 37 | 28 | 35 | 33 | 31 | 33 |
| 7 | 34 | 11 | 13 | 22 | 31 | 36 | 41 |
| 8 | 37 | 0 | 2 | 11 | 20 | 25 | 30 |
| 9 | 28 | 2 | 0 | 9 | 18 | 23 | 51 |
| 10 | 35 | 11 | 9 | 0 | 9 | 14 | 42 |
| 11 | 33 | 20 | 18 | 9 | 0 | 5 | 33 |
| 12 | 31 | 25 | 23 | 14 | 5 | 0 | 28 |
| 13 | 33 | 30 | 51 | 42 | 33 | 28 | 0 |

Nota. Adaptada al VRP la ruta más corta, (Ramírez Rodríguez, 2016, pág. 23)

Ahora la tabla 14 más simplificada, muestra los datos de los pacientes ocho (8) al trece (13) debido a que han ido reduciéndose los tiempos de desplazamiento del tiempo total de ruta y por tanto desaparecen las filas y las columnas de la tabla original (12).

Tabla 15

Tiempos de Desplazamiento de Pacientes 8 al 12

Se registra ahora la disminución del tiempo restante de ruta.

| Origen | Tiempo total en min. | resta | Tiempo de desplazamiento en min. | Suma | Tiempo de servicio en min | Tiempo restante en min. |
|----------------------|----------------------|-------|----------------------------------|------|---------------------------|-------------------------|
| Paciente 8 | 275 | - | 11 | + | 20 | 244 |
| Paciente 9 | 244 | - | 2 | + | 20 | 222 |
| Paciente 10 | 222 | - | 9 | + | 20 | 193 |
| Paciente 11 | 193 | - | 9 | + | 20 | 164 |
| Paciente 12 | 164 | - | 5 | + | 20 | 139 |
| Clínica | 139 | - | 28 | + | 0 | 111 |
| Tiempo ocioso | | - | 23 | + | 0 | 88 |

Nota. Diseño propio del autor, tiempos de la tabla 9, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021.

$$111 \text{ min.} - 23\text{min} = \mathbf{88 \text{ minutos}}$$

Los veintitrés 23 minutos de tiempo ocioso es un tiempo que toda ruta tiene disponible para que los profesionales del servicio médico domiciliario puedan detenerse a desayunar o almorzar, igualmente el personal tiene autonomía de usarlos o no utilizarlos si así lo desean.

Al terminar el planteamiento se observa un ahorro de ochenta y ocho (88) minutos que equivalen a una (1) hora y veintiocho (28) minutos, esto significa que para la ruta podemos ingresar un número mínimo de tres (3) pacientes, solo si se encuentra localizados geográficamente en el mismo sector o en cercanías a los pacientes asignados en dicha ruta.

Para que se pueda aprovechar este tiempo el desplazamiento entre paciente y paciente no debe exceder los límites de tiempo.

Este ejemplo demuestra como para una determinada zona, en este caso la zona norte la ruta más corta, se necesita solamente un vehículo para cumplir con la demanda asignada de pacientes, ahora bien, como son cinco (5) zonas para cubrir los sesenta (60) pacientes (si 12 por zona), se necesitaran cinco (5) vehículos trabajando sin presión de tiempo (ya que sobran 88 minutos). Debemos tener en cuenta que el comportamiento de las visitas a los pacientes y los desplazamientos pueden estar sujeto a cambios por contratiempos e imprevistos y que estos ochenta y ocho (88) minutos que han sobrado, pueden que en una próxima oportunidad no sean los mismos o sean de menor valor.

En el anterior ejemplo se ha enseñado el procedimiento de cómo se resuelve el problema con el método de la heurística del vecino más cercano. Ahora presentamos las rutas pertenecientes a las cuatro zonas restantes en que se dividió la ciudad (oriente, sur, centro y occidente) para poder observar el comportamiento en los tiempos de las mismas.

En la tabla número 16 se muestran los pacientes ubicados en la zona dos (2) Oriente de la ciudad, con estos datos se calcula nuevamente la heurística del vecino más cercano para encontrar el tiempo óptimo para la segunda ruta.

Tabla 16

Ruta Zona Dos (2) Oriente de la Ciudad.

| Dirección | Desde | Barrio | Hora de ingreso a.m. | Hora de salida a.m. | Tiempo de servicio profesional en Min. | Tiempo de recorrido en min. |
|----------------------------------|--------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|---|------------------------------------|
| CLÍNICA Calle 25N # 2B-17 | A | San Vicente | 6:00 | 6:00 | 0:00 | 0:00 |
| Calle 97 # 28-38 | B | Alfonso Bonilla | 6:30 | 6:50 | 20 | 30 |

| | | | | | | |
|----------------------------------|----------|----------------------|-------|-------|------|----|
| Calle 74 # 27 B -32 | C | Alfonso Bonilla | 6:59 | 7:25 | 26 | 9 |
| Carrera 27 # 88-31 | D | Alfonso Bonilla | 7:34 | 8:02 | 28 | 9 |
| Carrera 26 U # 78-04 | E | Alfonso Bonilla | 8:06 | 8:35 | 29 | 4 |
| Carrera 26 H2 # 93-04 | F | Marroquín 1 | 8:43 | 9:05 | 22 | 8 |
| Carrera 26 P8 # 96-18 | G | Marroquín 2 | 9:15 | 9:36 | 21 | 10 |
| Carrera 26 G # 108-124 | H | Manuela Beltrán | 9:47 | 10:12 | 25 | 11 |
| Carrera 26 # 108-108 | I | Manuela Beltrán | 10:19 | 10:46 | 27 | 7 |
| Carrera 26 I3 # 121-83 | J | Remansos de Comfandi | 10:52 | 11:18 | 26 | 6 |
| Calle 102 G # 23 -69 | K | Compartir | 11:30 | 12:00 | 30 | 12 |
| Calle 101 C # 20-48 | L | Compartir | 12:08 | 12:37 | 29 | 8 |
| Calle 24 B # 25-42 | M | Compartir | 12:47 | 1:12 | 25 | 10 |
| CLÍNICA Calle 25N # 2B-17 | N | San Vicente | 1:42 | 0:00 | 0:00 | 30 |

Nota. Adaptada del formato original, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021

116-30=86 minutos.

Al terminar el planteamiento se observa un ahorro de 86 minutos en esta ruta, que equivalen a una (1) hora y treinta y seis (36) minutos.

En la tabla número 17 se muestran los pacientes ubicados en la zona tres (3) sur de la ciudad, con estos datos se calcula nuevamente la heurística del vecino más cercano para encontrar el tiempo óptimo para la tercera ruta.

Tabla 17

Ruta Zona Tres (3) Sur de la Ciudad.

| Dirección | Desde | Barrio | Hora de ingreso a.m. | Hora de salida a.m. | Tiempo de servicio profesional en Min. | Tiempo de recorrido en min. |
|---|----------|----------------------|----------------------|---------------------|--|-----------------------------|
| CLÍNICA Calle 25N # 2B-17 | A | San Vicente | 6:00 | 6:00 | 0:00 | 0.0 |
| Carrera 56 # 9-60 Torre M apto 103 | B | Camino Real | 6:32 | 6:57 | 25 | 32 |
| Calle 1A # 67-71 Torre 1 apto 403 | C | Refugio | 7:06 | 7:33 | 27 | 9 |
| Calle 2C # 73-125 apto E 114 | D | Alfárez Real | 7:41 | 8:07 | 26 | 8 |
| Calle 5 # 84-100 Torre del Reloj apto 305 | E | Las Vegas | 8:16 | 8:47 | 31 | 9 |
| Calle 79 # 9-18 Torre D apto 101 | F | Capri | 8:54 | 9:19 | 25 | 7 |
| Carrera 75 # 13B-40 apto 102 B | G | Quintas de Don Simón | 9:31 | 9:54 | 23 | 12 |
| Carrera 91 # 28-17 | H | Valle del Lili | 10:11 | 10:35 | 24 | 17 |
| Carrera 100 # 42-65 Torre 2 apto 102 | I | Valle del Lili | 11:44 | 11:10 | 26 | 9 |
| Calle 50 # 94-32 apto 103 B | J | Valle del Lili | 11:19 | 11:44 | 25 | 9 |
| Carrera 90 # 45 -198 apto 401 D | K | Valle del Lili | 11:51 | 12:17 | 26 | 7 |
| Carrera 66 # 14-76 manzana 12 casa 27 | L | La Hacienda | 12:30 | 12:48 | 18 | 13 |
| Calle 17 A # 62-47 | M | Cañaverales | 12:55 | 1:19 | 24 | 7 |
| CLÍNICA Calle 25N # 2B-17 | N | San Vicente | 1:51 | 0:00 | 0:00 | 32 |

Nota. Adaptada del formato original, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021

121-32=89 minutos.

Al terminar el planteamiento se observa un ahorro de 89 minutos en esta ruta, que equivalen a una (1) hora y treinta y nueve (39) min.

En la tabla número 18 se presentan los pacientes ubicados en la zona cuatro (4) Centro de la ciudad. Con estos datos se calcula nuevamente la heurística del vecino más cercano para encontrar el tiempo óptimo para la cuarta ruta.

Tabla 18

Ruta Zona cuatro (4) Centro de la Ciudad.

| Dirección | Desde | Barrio | Hora de ingreso a.m. | Hora de salida a.m. | Tiempo de servicio profesional en Min. | Tiempo de recorrido en min. |
|----------------------------------|----------|------------------|----------------------|---------------------|--|-----------------------------|
| CLÍNICA Calle 25N # 2B-17 | A | San Vicente | 6:00 | 6:00 | 0:00 | 0.0 |
| Carrera 12 # 6-45 | B | San Bosco | 6:13 | 6:35 | 22 | 13 |
| Carrera 22 A# 15B -09 | C | Aranjuez | 6:45 | 7:08 | 23 | 10 |
| Carrera 40A # 9B-43 | D | Cámbulos | 7:20 | 7:41 | 21 | 12 |
| Carrera 38 # 10-15 | E | Olímpico | 7:50 | 8:12 | 22 | 9 |
| Carrera 32 # 10A-31 | F | Colseguros | 8:20 | 8:43 | 23 | 8 |
| Carrera 37A # 14C-23 | G | Cristóbal Colón | 8:54 | 9:18 | 24 | 11 |
| Calle 16# 33B-15 | H | Cristóbal Colón | 9:24 | 9:50 | 26 | 6 |
| Carrera 33 A # 18-11 | I | Libertad | 9:54 | 10:16 | 22 | 4 |
| Carrera 28 L # 32A-53 | J | San Benito | 10:27 | 10:52 | 25 | 11 |
| Carrera 25 # 24B -25 | K | Aguablanca | 11:00 | 11:21 | 21 | 8 |
| Carrera 17 G # 25-127 | L | Primitivo Crespo | 11:28 | 11:50 | 22 | 7 |
| Carrera 33B # 17F5-47 | M | Primitivo Crespo | 11:57 | 12:24 | 27 | 7 |
| CLÍNICA Calle 25N # 2B-17 | N | San Vicente | 12:49 | 0:00 | 0 | 25 |

Nota. Adaptada del formato original, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021

134-25=109 minutos.

Al terminar el planteamiento se observa un ahorro de 109 minutos en esta ruta, que equivalen a una (1) hora y cuarenta y nueve (49) min.

En la tabla número 19 se presentan los pacientes ubicados en la zona cinco (5) Occidente de la ciudad. Con estos datos se calcula nuevamente la heurística del vecino más cercano para encontrar el tiempo óptimo para la quinta ruta.

Tabla 19

Ruta Zona Cinco (5) Occidente de la Ciudad.

| Dirección | Desde | Barrio | Hora de ingreso a.m. | Hora de salida a.m. | Tiempo de servicio profesional en Min. | Tiempo de recorrido en min. |
|------------------------------------|----------|-----------------|----------------------|---------------------|--|-----------------------------|
| CLÍNICA Calle 25N # 2B-17 | A | San Vicente | 6:00 | 6:00 | 0:00 | 0.0 |
| Avenida 9 A # 15A-54 | B | Granada | 6:09 | 6:31 | 22 | 9 |
| Calle 2 Oeste # 9 -15 | C | Normandía | 6:42 | 7:05 | 23 | 11 |
| Avenida 5 Oeste # 23-64 | D | Terron Colorado | 7:19 | 7:40 | 21 | 14 |
| Avenida 6 Oeste # 23B-40 | E | Terron Colorado | 7:44 | 8:06 | 22 | 4 |
| Avenida 7 Oeste # 23B-170 | F | Terron Colorado | 8:18 | 8:41 | 23 | 12 |
| Avenida 7 Oeste # 27-33 | G | Terron Colorado | 8:51 | 9:15 | 24 | 10 |
| Avenida 1 Oeste # 21-259 | H | Palermo | 9:37 | 10:07 | 30 | 22 |
| Calle 12 Oeste # 2A-151 apto 502 A | I | Arboleda | 10:25 | 10:55 | 30 | 18 |
| Carrera 18 Oeste # 6-07 | J | Nacional | 11:08 | 11:37 | 29 | 13 |
| Carrera 14 # 2A -20 | K | San Cayetano | 11:46 | 12:11 | 25 | 9 |
| Carrera 9 # 3-34 | L | San | 12:18 | 12:44 | 26 | 7 |
| Avenida 28 Norte # 6N-38 | M | Santa Mónica | 12:58 | 1:26 | 28 | 14 |
| CLÍNICA Calle 25N # 2B-17 | N | San Vicente | 1:31 | 0:00 | 0 | 5 |

Nota. Adaptada del formato original, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021

97-5=**92 minutos** de ahorro.

Al terminar el planteamiento se observa un ahorro de 92 minutos para esta ruta, que equivalen a una (1) hora y treinta y dos (32) min.

A continuación, se toman los mismos datos de la zona uno (1) norte de la ciudad, la ruta más corta a fin de desarrollar el mismo problema utilizando solver como herramienta para encontrar una solución. La práctica ha demostrado en el campo que, aunque las otras zonas son más retiradas, se ha cumplido con el objetivo según los datos estadísticos manejados por la Clínica nueva Rafael Uribe Uribe y de la misma manera solver se aplica ahora para la zona uno (1) norte de la ciudad, tomada como prueba piloto es aplicable para las demás zonas (2,3,4 y 5) en que se dividió la ciudad.

Solución al Ruteo de Vehículos Programados para la Atención Médica Domiciliaria

Utilizando la herramienta Solver.

La formulación matemática es la base para encontrar una solución óptima que le permita a la clínica nueva Rafael Uribe Uribe un sistema confiable en la generación de las rutas médicas con el fin de mejorar los tiempos de atención a sus pacientes. En este caso incorporamos solver de Excel como una herramienta para encontrar un valor óptimo, mínimo o máximo. Solver está sujeto a restricciones en una hoja de cálculo. Se busca generar las rutas del servicio médico domiciliario para ahorra tiempo, trabajo, mejora la calidad y el tiempo en la asistencia.

Solver trabaja con un grupo de celdas llamadas celdas variables de decisión que se usan para calcular fórmulas en la celda objetivo y de restricción. Solver ajusta los valores a las celdas de decisión para que cumplan con los límites de las restricciones y ver el resultado deseado en la celda objetivo. En la siguiente tabla se representa los tiempos de recorrido entre los diferentes pacientes visitados en esta ruta.

Tabla 20

La Ruta más Corta Zona 1 Norte

| Dirección | Desde | Barrio | Hora de ingreso a.m. | Hora de salida a.m. | Tiempo de servicio profesional en Min. | Tiempo de recorrido en Min. |
|----------------------------------|----------|-------------|----------------------|---------------------|--|-----------------------------|
| CLINICA Calle 25N # 2B-17 | A | San Vicente | 6:30 | 7:00 | 0:00 | 0:00 |
| Carrera 1a 13 #70-76 | B | San Luis | 7:26 | 7:48 | 22 | 26 |
| Calle 73 # 1 a 10 -14 | C | San Luis | 7:55 | 7:18 | 23 | 7 |
| Carrera 1a 13 #71-100 | D | San Luis | 7:24 | 7:45 | 21 | 6 |
| Carrera 1a 13 #73-44 | E | San Luis | 7:49 | 8:11 | 22 | 4 |
| Carrera 1b 2 #72-36 | F | San Luis | 8:15 | 8:40 | 25 | 6 |
| Calle 73 #1c 1-12 | G | San Luis | 8:48 | 9:12 | 24 | 8 |
| Carrera 2d # 72-118 | H | Gaitán | 9:20 | 9:50 | 30 | 8 |
| Carrera 1c # 77-21 | I | Petecuy | 10:01 | 10:31 | 30 | 11 |
| Carrera 1c # 77-25 | J | Petecuy | 10:33 | 11:02 | 29 | 2 |
| Calle 72c# 1a3 -69 | K | San Luisito | 11:11 | 11:36 | 25 | 9 |
| Calle 70 bis norte # 4cn-103 | L | Guaduales | 11:45 | 12:19 | 34 | 9 |
| Calle 71 a # 8N-63 | M | Guaduales | 12:24 | 12:52 | 28 | 5 |
| CLINICA Calle 25N # 2B-17 | N | San Vicente | 1:20 | 0:00 | 0 | 28 |

Nota. Adaptado a los tiempos de la ruta más corta, clínica nueva Rafael Uribe Uribe, 2021.

La Tabla 21 identifica la ruta desde el nodo A clínica (depósito) hasta el último paciente nodo K regresando nuevamente a la clínica. Para resolver un problema con solver de Excel, se ajusta esta tabla en donde se consignan los datos de la ruta más corta, se llena la tabla y anotan en ella los desplazamientos; el primer recorrido en este caso, el nodo A (clínica) hasta el nodo B (primer paciente) y se registra la distancia recorrida entre ellos continuando así sucesivamente hasta llegar al final del nodo.

Tabla 21

Nodos de la Tabla 20

(la ruta más corta)

| DESDE | HACIA | DISTANCIA |
|-------|-------|-----------|
| A | B | 26 |
| A | C | 26 |
| B | D | 7 |
| B | F | 7 |
| D | E | 4 |
| D | F | 8 |
| D | N | 11 |
| E | G | 6 |
| G | I | 2 |
| H | J | 9 |
| J | K | 5 |
| K | N | 28 |
| L | N | 28 |

Nota. Adaptado a la ruta más corta, clínica nueva Rafael Uribe Uribe,2021.

Una vez construida la tabla de nodos se procede a ingresar los datos en Solver (Excel). Lo primero que se hace es construir la casilla donde se ejecutará la función objetivo, se realiza con la función sumar si, con las columnas distancia y en ruta como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22

Solución para Hallar la Ruta Crítica

| DESDE | HACIA | DISTANCIA | EN RUTA |
|-------|----------------|-----------|---------|
| A | B | 26 | 1 |
| A | C | 26 | 0 |
| B | D | 7 | 1 |
| B | F | 7 | 0 |
| C | E | 7 | 0 |
| D | E | 4 | 0 |
| D | F | 8 | 0 |
| D | N | 11 | 1 |
| E | G | 6 | 0 |
| F | H | 8 | 0 |
| G | I | 2 | 0 |
| H | J | 9 | 0 |
| I | L | 9 | 0 |
| J | K | 5 | 0 |
| K | N | 28 | 0 |
| L | N | 28 | 0 |
| | RUTA MÁS CORTA | | 44 |

Nota. Adaptado a la ruta más corta, Excel, clínica nueva Rafael Uribe Uribe,2021.

A continuación, la tabla 23 de condición y la tabla 21 de nodos son necesarias para colocar las restricciones en solver, por medio de estas dos tablas solver ejecuta el análisis.

Tabla 23

de Condición

| NODO | FLUJO | = | CONDICION |
|------|-------|---|-----------|
| A | 1 | = | 1 |
| B | 0 | = | 0 |
| C | 0 | = | 0 |
| D | 0 | = | 0 |
| E | 0 | = | 0 |
| F | 0 | = | 0 |
| G | 0 | = | 0 |
| H | 0 | = | 0 |
| I | 0 | = | 0 |
| J | 0 | = | 0 |
| K | 0 | = | 0 |
| L | 0 | = | 0 |
| N | -1 | = | -1 |

Nota. Adaptado a la ruta más corta, clínica nueva Rafael Uribe Uribe,2021.

Al repetir el proceso en Solver la nueva solución de la ruta más corta zona uno (1) norte de la ciudad, es:

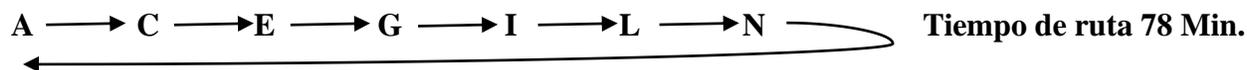


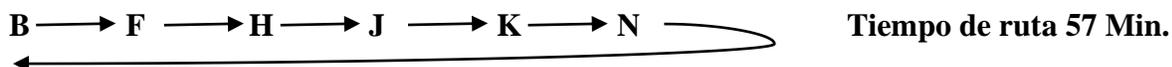
Tabla 26

Tercera y Última Solución de Solver

| DESDE | HACIA | DISTANCIA | EN RUTA | NODO | FLUJO | CONDICION |
|-------|-------|-----------|---------|-------------|-------|-----------|
| B | F | 7 | 1 | B | 1 | = 1 |
| D | E | 4 | 0 | D | 0 | = 0 |
| D | F | 8 | 0 | E | 0 | = 0 |
| F | H | 8 | 1 | F | 0 | = 0 |
| H | J | 9 | 1 | H | 0 | = 0 |
| J | K | 5 | 1 | J | 0 | = 0 |
| K | N | 28 | 1 | K | 0 | = 0 |
| | RUTA | MAS CORTA | 57 | N | -1 | = -1 |
| NODO | | | | TIEMPO RUTA | | |
| BF | FH | HJ | JK | KN | 57 | |

Nota. Adaptado a la ruta más corta, Excel, clínica nueva Rafael Uribe Uribe,2021.

La última solución de solver para la ruta más corta fue:



Para finalizar el proceso se toman los tiempos que solver encontró:

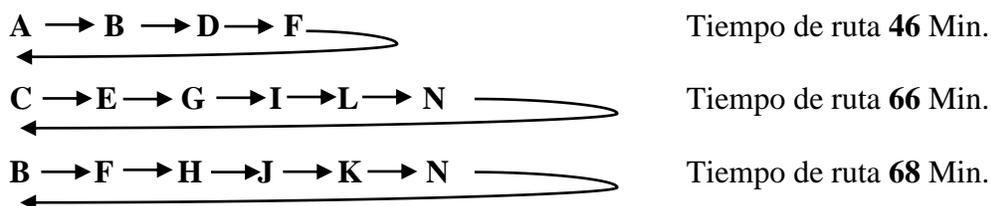
Tiempo total de ruta zona uno (1) Norte: **44 min. + 78 min. + 57 min. = 179 min.**

Equivale a dos (2) horas y setenta y nueve (79) minutos. Aproximadamente 3 horas. Cabe anotar que este tiempo (179 min) pertenece al desplazamiento del vehículo.

En este mismo sentido, se presentan los datos de las rutas de las zonas oriente, sur, centro y occidente, con el fin de determinar los tiempos de desplazamiento para cada uno de ellas. Es de anotar que este procedimiento se realiza para cada una de las rutas de cada zona, mostrando con base en la herramienta solver los nodos que se generan y los tiempos de desplazamiento de ruta para cada uno de los mismos.

Para la Ruta dos (2) Oriente de la ciudad

Nodo

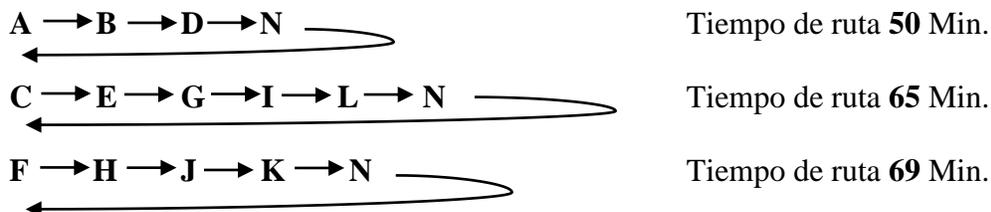


Tiempo total de ruta 2 zona Oriente **46 min. + 66 min. + 68 min. = 180 min.**

Equivale a tres (3) horas exactas.

Para la Ruta tres (3) Sur de la ciudad

Nodo

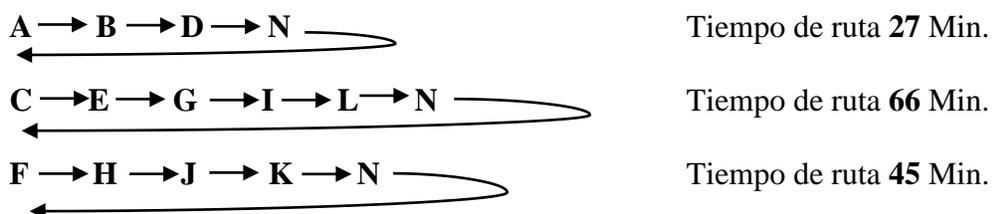


Tiempo total de ruta 3 zona Sur **50 min. + 65 min. + 69 min. = 184 min.**

Equivale a tres (3) horas y cuatro (4) minutos.

Para la Ruta cuatro (4) Centro de la ciudad

Nodo

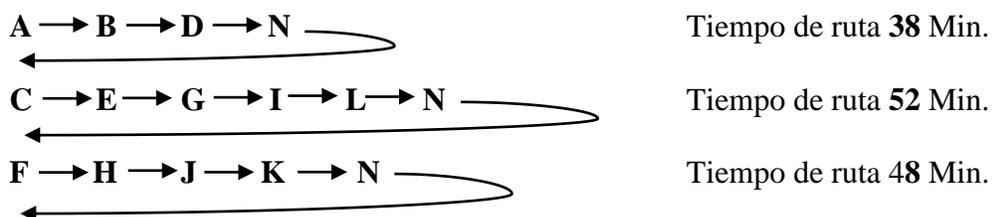


Tiempo total de ruta 3 zona Sur **27 min. + 66 min. + 45 min. = 138 min.**

Equivale a dos (2) horas y dieciocho (18) minutos.

Para la Ruta cinco (5) Occidente de la ciudad

Nodo



Tiempo total de ruta 3 zona Sur **38 min. + 52 min. + 48 min. = 138 min.**

Equivale a dos (2) horas y dieciocho (18) minutos.

**Análisis de la relación Costo Beneficio de la propuesta de ruteo para la Clínica
nueva Rafael Uribe Uribe.**

La relación beneficio costo se valora con base en la ruta más corta establecida por Solver, decretando el costo de esta ruta a partir de su distancia en kilómetros y el costo de la gasolina por kilómetro. Este costo se contrasta con el beneficio que representa para la clínica y los profesionales en el ahorro de tiempo de 88 minutos.

Beneficio / Costo

Distancia recorrida en km = 43.5 km

Nota: el vehículo recorre en promedio 45 km por galón.

$$\begin{array}{lcl}
 1 \text{ galón} \longrightarrow & 45 \text{ km} & \\
 X \longrightarrow & 43.5 \text{ km} &
 \end{array}
 \quad
 x = \frac{1 \text{ galón} \times 43,5 \cancel{\text{ Km}}}{45 \cancel{\text{ Km}}}
 \quad
 x = 0.96 \text{ de galón}$$

Costo de gasolina por km = \$ 8.990

$$\text{Costo} = 0,96 \times 8.990$$

$$\text{Costo} = \mathbf{\$ 8.630}$$

Sueldo vehículo = 3'200.000 / 30 días / 8 horas laborales / 60 min.

$$= \$ 222,22 \text{ vale el minuto.}$$

$$\text{Beneficio} = \$ 222,22 \text{ min.} \times 88 \text{ min.}$$

$$\text{Beneficio} = \mathbf{\$ 19.556}$$

Ahora: Beneficio / Costo = \$ 19.556 / \$ 8.630

Beneficio / Costo = \$ 2,27 de la ruta zona uno (1) Norte de la ciudad.

El indicador significa que estoy teniendo un beneficio 2, 27 superior al costo.

La relación del beneficio costo se calcula con la distancia que existe entre los domicilios de los pacientes y el costo del galón de gasolina, la aplicación de estos dos valores me genera el costo de la ruta más corta calculada por solver. Esto se compara con los 88 minutos de tiempo ahorrados en la ruta con relación al tiempo estipulado por la clínica. los 88 minutos se convierten con relación al vehículo en el beneficio, este evita el desgaste y ahorra gasolina. Se sabe cuánto es el valor mensual del pago por vehículo, este se reduce al pago diario, posteriormente al pago por horas y finalmente al pago por minuto. Este último valor se aplica a los 88 minutos ahorrados por el desplazamiento que realiza el vehículo en la ruta y este es el beneficio obtenido.

En la siguiente tabla se presentan la relación Beneficio / Costo para las cinco zonas en que se dividió la ciudad de Santiago de Cali

| RUTAS | Zona 2 | Zona 2 | Zona 3 | Zona 4 | Zona 5 |
|-------------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|------------------|
| | NORTE | ORIENTE | SUR | CENTRO | OCCIDENTE |
| RELACIÓN BENEFICIO/COSTO | 2,27 | 2,21 | 2,29 | 2,81 | 2,87 |

La Tabla demuestra como los indicadores de la relación beneficio costo además de ser similares, son bastante buenos para darle credibilidad a la propuesta.

Es de anotar que no han sido tomado los sueldos de los profesionales porque estos son fijos y el tiempo ahorrado es utilizado por los mismos en las actividades que deben realizar dentro de la clínica como son evolucionar en el sistema los datos de las terapias, las visitas médicas, los medicamentos y los diagnósticos del progreso o retroceso del tratamiento.

Para el cálculo del beneficio económico los salarios de los profesionales no se han tenido en cuenta, ya que estos están disponibles durante todo el tiempo al servicio de la clínica, bien sea en las diferentes rutas domiciliarias o en la atención dentro de las instalaciones de la clínica.

Por lo tanto, cualquier disminución que se produzca en el tiempo de ruteo no afecta el sueldo de estos profesionales, como tampoco el costo económico del programa, es decir no afecta la relación beneficio / costo.

Esta relación solo se ve afectada por los gastos operacionales del vehículo que son los que pueden aumentar o disminuir, debido a que los vehículos al ahorrar tiempo en operación disminuyen costos y permanecen disponibles en la clínica para ser usados en alguna actividad que se presente.

En la siguiente tabla se presenta los costos que inciden en el sistema de ruteo tanto de los profesionales, de los insumos como operacionales de los vehículos y los equipos que se utilizan para su ejecución:

Tabla 27

Inversión del Programa de Atención Médica Domiciliaria

| Cantidad | Personal | Sueldo | Ítem por cantidad | Gastos hasta agotar inventario |
|----------|--------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|
| 1 | Especialistas | 7.000.000 | 7.000.000 | |
| 4 | Médicos | 5.400.000 | 21.600.000 | |
| 7 | Terapeutas | 3.500.000 | 24.500.000 | |
| 2 | Jefes enfermeros | 3.200.000 | 6.400.000 | |
| 2 | Auxiliares | 1.570.000 | 3.140.000 | |
| 5 | Vehículos | 3.200.000 | 16.000.000 | |
| 1 | Psicólogo | 3.300.000 | 3.300.000 | |
| 1 | Nutricionista | 3.300.000 | 3.300.000 | |
| 1 | Trabajador social | 2.950.000 | 2.950.000 | |
| | | | 0 | |
| 44 | Insumos | 650.000 | 28.600.000 | |
| | Elementos de protección. | | | 25.000.000 |
| | Insumos Covid 19 | 15.000.000 | | 15.000.000 |
| | TOTAL | 74.070.000 | 116.790.000 | 40.000.000 |

Nota. Tabla adaptada de la inversión del programa de atención domiciliario, clínica Rafael Uribe Uribe, 2021.

- Los insumos son un aproximado no todos los pacientes reciben esta ayuda en estos momentos se tiene 44 personas de las cuales el gasto promedio por cada uno es de \$650.000 cada mes.
- Los elementos de protección personal son los trajes de bioseguridad, batas, caretas, guantes, cofias, tapabocas de alta, gafas de seguridad, elementos y utensilios usados por los profesionales para atender los pacientes.
- Los insumos Covid 19 son los reactivos utilizados para la prueba, hisopos y otros utensilios para esta labor.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La manera como se manejan actualmente las rutas médicas de clínica Nueva Rafael Uribe Uribe no es eficaz, debido a que no existe personal en el área de logística que se encargue de realizar la programación de las rutas. Por esta razón, el sistema de transporte no cumple con los tiempos establecidos para sus recorridos, de tal manera que satisfaga las necesidades de los pacientes y los requerimientos de la empresa.

Para optimizar el sistema de ruteo, se definió como función objetivo: Minimizar el tiempo de servicios y el número de vehículos que se deben utilizar para mejorar la programación de las rutas médicas domiciliarias en la clínica nueva Rafael Uribe Uribe. De la misma manera, se encontró que las variables críticas relevantes son: tiempo, distancia y velocidad. El tiempo se calcula como la cantidad de minutos registrados al recorrer la distancia entre el origen (clínica) al primer paciente, así como la distancia entre paciente y paciente.

La distancia es una variable que muestra la longitud que existe en el recorrido total de la ruta, con el fin de establecer la distancia entre los pacientes ubicados geográficamente.

Para este proyecto la velocidad es una variable que depende exclusivamente del conductor del vehículo, el estado de las vías, el congestionamiento de las mismas y la velocidad máxima establecida por ley para circular dentro de la ciudad.

En la propuesta las restricciones que se aplican para el sistema de ruteo son:

- ✓ El tiempo total de ruta es de ocho (8) horas, o sea cuatrocientos ochenta minutos (480)
- ✓ El tiempo total de desplazamiento en ruta se fijó en doscientos cuarenta (240) minutos.
- ✓ El tiempo de servicio de atención a un paciente es en promedio de veinte minutos (20).
- ✓ El tiempo total del que dispone un profesional de la salud para atender a todos los pacientes es de doscientos cuarenta minutos (240 min.)

Para reafirmar el problema de la heurística del vecino más cercano se utilizó una herramienta de programación denominada Solver (Excel), para determinar la ruta más corta y el tiempo a utilizar en cada una de ellas. Durante la prueba piloto en la zona uno (1) norte de la ciudad, que sirvió como ejemplo, se ahorró ochenta y ocho (88) minutos de tiempo, lo cual significa menos gasto en gasolina y mayor tiempo disponible para reasignar el vehículo a otros pacientes que hacen parte del programa de atención domiciliaria.

Se evidencia en la propuesta que los beneficios que se presentan con su aplicación son mayores que los costos en que se incurre para ponerla en marcha. Con la implementación de la misma se logra un ahorro en tiempo (88 min.) en la ruta utilizada como prueba piloto. En este sentido se da una relación Beneficio / Costo = 2,27. Por cada peso que se gaste se obtiene 2,27 de retribución.

Del Análisis de las relaciones beneficio / costo se puede concluir que estas además de ser similares son suficientemente significativas, como para darle credibilidad a la aplicación de la propuesta desarrollada en este proyecto.

Recomendaciones

- Se recomienda que los pacientes programados en una determinada ruta estén ubicados en la misma zona de la ciudad. En este sentido es bueno aclarar que la clínica está dispuesta a prestar el servicio de atención médico domiciliario a todos los pacientes que lo requieran dentro de la ciudad de Santiago de Cali, pero se buscará ubicarlos de acuerdo a las zonas en que se encuentran localizados para llevar a cabo la programación de las visitas.
- Se recomienda que la evolución de la historia clínica de los pacientes por parte de los profesionales, la puedan adelantar en su tiempo libre o mientras se desplaza en el vehículo bien sea en su celular o una Tablet, Lo anterior les ahorraría tiempo y brindaría mayor agilidad en los cambios que realicen.
- Dado que los ochenta y ocho (88) minutos que se ahorran con la nueva programación, es indiferente valorarlos económicamente ya que los costos permanecen constantes y el vehículo se reintegra nuevamente al sistema, el tiempo se debe utilizar para visitar aquellos pacientes que no han sido visitados o que por motivos de salud se convierten en una urgencia.

- Es recomendable capacitar al personal en el tema de la programación de rutas, para que estén informados y conozcan el procedimiento que se adelanta para llevar a cabo un sistema de ruteo ordenado y lógico

- Se recomienda establecer metas estadísticas de atención para saber de qué manera evoluciona el programa de atención medica domiciliaria.

Referencias

- Argueta, D. E. (2019). La Importancia de la Simulación y Modelación en la Actualidad. *Revista ecys*.
- Arias Rojas, J. S. (2010). *Aplicación de un Problema de Optimización en la Planeación de Rutas de los Buses Escolares del Colegio Liceo de Cervantes Norte*. Bogotá.
- Bassanezi, R., & Biembengut, M. (2002). Lectura de informe 2. *Slideshare.net*.
- Brito, M. L., Alemán, I., & Fraga, E. (2011). Papel de la Modelación Matemática en la Formación de Ingenieros. *Ingeniería mecánica Vol.14*.
- Clínica Nueva, R. U. (2019). *Programa de Atención Domiciliaria*. Santiago de Cali.
- Elejalde, C. m., & Ramírez, L. N. (2010). *Problema para la Asignación de Rutas de Ambulancias de la Empresa HEALTH SOCIETY para la Prestación de Servicios en la Ciudad de Bogotá D.C*. Bogotá.
- Forero Avila, A. E. (2018). *Propuesta de Ruteo para el Transporte de Dispositivos de Vigilancia Electrónica en Bogotá*. Bogotá.
- Guacaneme, A. d., & Pulido, Y. A. (2013). *Optimización de los Procesos Operativos en Logística y Servicios Capital S.A*. Bogotá.
- Mundial de Finanzas, B. (2006). Corredor logístico. *Documentos de Investigación*.
- OMS. (2019). *Declaración Mundial de los Derechos Humanos*. París.
- Pacheco, J. (2019). Programación lineal (definición, métodos). *Web y Empresas*.
- Piñarte, D. I., & Reinoso, V. (2014). *Atención Domiciliaria en Salud Realizada por Instituciones prestadoras de Salud en la Ciudad de Bogotá y su Relación con la Atención primaria en Salud*. Bogotá.

Ramírez Rodríguez, L. E. (2016). *Una Solución al Problema de Ruteo de Vehículos Abierto (OVRP), Implementando la Heurística del Vecino más cercano*. caldas.

Restrepo, C., Manrique, J. C., Villegas, N. E., & Bedoya, L. R. (2007). *Costo de Hospitalización Domílicaria como Alternativa de la Hospitalización Institucional*. Medellín.

Sobreviela, J. M., Ramírez, D., & Sánchez, F. (2005). *Guía de Buena Práctica Clínica en Atención Domílicaria*. Madrid.

Torres Ramos, A. F. (2015). *Optimización de las Operaciones de Programación y Ruteo de Personal Especializado en Servicios Médicos Domílicarios*. Chia.

Velásquez, S. (1998-2021). *Atención Domílicaria. Medicina Familiar*.

Bibliografía

Esteban J.M., Ramírez D, Sánchez F, (2005) Atención primaria de Calidad, Guía de buena práctica clínica en atención domiciliaria. (2005) pp. 7-163

Baldacci, R., Christofides, N., & Mingozzi, A. (2008). An exact algorithm for the vehicle routing problem based on the set partitioning formulation with additional cuts. *Math Program*, 115 (2008), pp. 351–385.

Beasley, J. (1983). Route First - Clouster Second Methods for Vehicle Routing. Obtenido de http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/papers/omega_83.pdf

Hall, R. (2006). Vehicule Routing: On the road to integration. 2006 survey of vehicle routing software spotlights critical supply chain management role En: *OR/MS today*. Vol. 33 N°.3

Obtenido de http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Vehicle_Routing/vrss.html: análisis comparativo del aplicativo desarrollado en este trabajo de grado con algunos de los softwares disponibles en Colombia para el diseño de rutas de distribución.

Emmanouil E. Zachariadis, C. T. (2010). An Open Vehicle Routing Proble metaheuristic for examining wide solution neighborhoods. Athens: Department of Process Analysis and Plant Design, National Technical University of Athens. Recuperado el 25 de 03 de 2015, de http://users.ntua.gr/ezach/BLSA_OVRP_Paper.pdf

Franco, L. A. (2010). Algoritmo de Optimización basado en Colonias de Hormigas

aplicadas al Problema de Asignación Cuadrática Y otros problemas relacionados. San Luis -
Argentina: Universidad Nacional de San Luis. Departamento de Informática

<https://youtu.be/APCNU46kxg4> para rutas

Modelación <http://www.sinewton.org/numeros/numeros/32/Articulo02.pdf>

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442011000200005#:~:text=La%20modelaci%C3%B3n%20matem%C3%A1tica%20es%20un,f%C3%ADsicas%2C%20como%20bio%C3%B3gicas%20y%20sociales.&text=Dado%20un%20problema%20del%20mundo,es%20formular%20un%20problema%20matem%C3%A1tico.

https://revistaecys.github.io/16Edicion/05_dargueta.html

<https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1xfuP1G7NIT9la2UV8Lc1oM3Rb8AF6TG3&ll=3.4351926228147662>

República de Colombia - Ministerio de la Protección Social. Política Nacional de
Prestación de Servicios de Salud. Bogotá D.C., 2005.

República de Colombia - Ministerio de la Protección Social. Resolución 5261 de 1994:
por la cual se estableció el manual de actividades, intervenciones y procedimientos del Plan
Obligatorio de Salud - POS en el Sistema General de Seguridad Social en Salud.

República de Colombia - Ministerio de la Protección Social. Resolución 8430 de 1993: por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Bogotá 4 de octubre de 1993.

República de Colombia - Ministerio de la Protección Social. Resolución 5261 de 1994: por la cual se establece el Manual de Actividades, Intervenciones y Procedimientos del Plan Obligatorio de Salud en el Sistema General de Seguridad Social en Salud. Bogotá, 5 de agosto de 1994. %2C-76.51599129824963&z=12