

Modelo para la asignación y ruteo de técnicos especializados. Caso de estudio Tecnova Intercomercial

Trabajo de grado presentado para obtener el título de

Magíster en Gerencia de Ingeniería
(Modalidad de profundización)

Juan David González Torres

Director

Leonardo José González Rodríguez

Universidad de la Sabana
Facultad de ingeniería
Maestría en Gerencia de Ingeniería
Chía, Colombia
2021



Universidad de
La Sabana

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado principalmente a mi núcleo familiar, conformado por mis padres y mi hermana, por su apoyo durante toda la maestría y por brindarme la oportunidad de estudiar un posgrado dentro de una excelente universidad; de igual manera, extendo la dedicatoria a mi novia que siempre estuvo presente en cada etapa desarrollada de la maestría y de este proyecto de grado.

AGRADECIMIENTOS

En este proyecto de grado agradezco a mi familia por su apoyo incondicional, mis padres, hermana, abuelos, tíos, primos, de igual manera agradezco a mi pareja por estar día a día presente.

A mis padres un agradecimiento especial ya que, por el esfuerzo realizado por ellos, pude realizar la maestría y logré obtener excelentes resultados en cada una de las etapas de ésta.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
PROPUESTA DE SOLUCIÓN	14
ESTRUCTURA DOCUMENTO.....	15
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.1 PROBLEMA	15
1.2 PREGUNTA DE MEJORA EMPRESARIAL	17
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	19
2.1 ETAPA 1	21
2.2 ETAPA 2	26
2.3 ETAPA 3	27
MARCO CONCEPTUAL	28
3.1 MARCO TEÓRICO.....	28
3.1.1 Investigación de operaciones.....	29
3.1.2 Ruteo de vehículos.	30
3.1.3 Asignación de personal.	31
3.1.4 Problema del agente viajero, problemas de ruteo y programación de fuerza de trabajo.	32
3.1.5 Servicio posventa.	33
3.2 ESTADO DEL ARTE	36
3.2.1 Características y objetivos de asignación y ruteo de personal.	39
3.2.2 Restricciones de asignación y ruteo de personal.....	40
3.2.3 Metodologías de asignación y ruteo de personal.....	42
3.2.4 Características del problema del agente viajero y asignación de recursos.....	43

MODELAMIENTO MATEMÁTICO	45
4.2 CONSIDERACIONES DEL MODELO MATEMÁTICO	46
4.3 FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	46
CASO DE ESTUDIO.....	51
5.1 AMBIENTE COMPUTACIONAL.....	54
5.2 ESTADO ACTUAL.....	54
5.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	57
5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	63
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXO 1. TABLAS E INFORMACIÓN PARA EL MODELAMIENTO	75

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Características de la asignación y problemas de ruteo de la fuerza de trabajo encontrados en la literatura	22
Tabla 2 Definición de características Papers y caso de estudio.	24
Tabla 3 Tema y método de solución Papers.	25
Tabla 4 Objetivos de las investigaciones de asignación y ruteo de recurso humano.....	40
Tabla 5 Restricciones de las investigaciones de asignación y ruteo de recurso humano..	41
Tabla 6 Metodologías de las investigaciones de asignación y ruteo de recurso humano..	42
Tabla 7 Función objetivo de las investigaciones en MTSPTWMDMP	44
Tabla 8 Restricciones de las investigaciones en MTSPTWMDMP	44
Tabla 9 Técnicos de Tecnova	51
Tabla 10 Tipos de visitas realizadas por Tecnova.....	52
Tabla 11 Días de planeación para el modelo	52
Tabla 12 Clientes de Tecnova en una semana laboral.....	53
Tabla 13 Rutas para el primer día semana real	54
Tabla 14 Rutas para el segundo día semana real	55
Tabla 15 Rutas para el tercer día semana real	55
Tabla 16 Rutas para el cuarto semana real.....	55
Tabla 17 Rutas para el quinto semana real	55
Tabla 18 Rutas para el sexto día semana real.....	56
Tabla 19 Porcentaje de participación por técnico	56
Tabla 20 Porcentaje de participación por técnico con las visitas sin realizar.....	57
Tabla 21 Rutas para el primer día del modelo	57
Tabla 22 Rutas para el segundo día del modelo	58
Tabla 23 Rutas para el tercer día del modelo.....	58
Tabla 24 Rutas para el cuarto día del modelo.....	58
Tabla 25 Rutas para el quinto día del modelo.....	58
Tabla 26 Rutas para el sexto día del modelo	59
Tabla 27 Porcentaje de participación por técnico	59
Tabla 28 Rutas para el primer día del modelo con factor TTRA	60
Tabla 29 Rutas para el segundo día del modelo con factor TTRA	60
Tabla 30 Rutas para el tercer día del modelo con factor TTRA	61
Tabla 31 Rutas para el cuarto día del modelo con factor TTRA.....	61
Tabla 32 Rutas para el quinto día del modelo con factor TTRA.....	61
Tabla 33 Rutas para el sexto día del modelo con factor TTRA.....	61
Tabla 34 Porcentaje de participación por técnico con factor TTRA	62
Tabla 35 Parámetro INtv: Relación de tipo de visita con técnicos	64
Tabla 36 Rutas para el primer día del modelo con cambio en INtv	65
Tabla 37 Rutas para el segundo día del modelo con cambio en INtv	65

Tabla 38 Rutas para el tercer día del modelo con cambio en INtv	65
Tabla 39 Rutas para el cuarto día del modelo con cambio en INtv	65
Tabla 40 Rutas para el quinto día del modelo con cambio en INtv.....	66
Tabla 41 Rutas para el sexto día del modelo con cambio en INtv	66
Tabla 42 Porcentaje de participación por técnico con cambio en INtv	66
Tabla 43 Rutas para el primer día con cambio en tiempos de visita	67
Tabla 44 Rutas para el segundo día con cambio en tiempos de visita	67
Tabla 45 Rutas para el tercer día con cambio en tiempos de visita	67
Tabla 46 Rutas para el cuarto día con cambio en tiempos de visita	67
Tabla 47 Rutas para el quinto día con cambio en tiempos de visita.....	68
Tabla 48 Rutas para el sexto día con cambio en tiempos de visita	68
Tabla 49 Porcentaje de participación por técnico con cambio en tiempo de visita	68
Tabla 50 Calificación de características de técnicos.....	75
Tabla 51 Promedio de tiempo en minutos según el tipo de visita.	75
Tabla 52 Visitas que realiza cada técnico dentro de Tecnova.....	76
Tabla 53 Direcciones de clientes de Tecnova visitados en una semana.....	76
Tabla 54 Parámetro TSivt (relación de tiempo de visita, técnicos y clientes)	77
Tabla 55 Parámetro P(i) (Periodos entre visitas de técnicos a clientes).....	83
Tabla 56 Ventanas de tiempo iniciales (minutos)	84
Tabla 57 Ventanas de tiempo finales (minutos)	86
Tabla 58 Parámetro INtv: Relación de tipo de visita con técnicos	87
Tabla 59 Parámetro CTViv Relación de tipo de visita con clientes.....	87
Tabla 60 Matriz de tiempos de desplazamientos entre los nodos (minutos).....	89

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama de flujo procesos posventa Tecnova (elaboración propia)	12
Ilustración 2 Diagrama de flujo proyecto (Actividades) (elaboración propia)	28
Ilustración 3 Marco de gestión de mantenimiento posventa (Castellano et al., 2016).....	35

RESUMEN

Dado el ambiente competitivo que hoy en día se presenta en las organizaciones debido a la globalización y mercados abiertos, un método de ventaja competitiva es la optimización de procesos y actividades. Dicha optimización conlleva a una mayor eficiencia de las operaciones reflejadas en un aumento de productividad de la empresa en cuestión. La asignación correcta de personal y recursos en una empresa y/o proyecto es un factor determinante para poder establecer el nivel de productividad y desempeño de la mano de obra al igual que la satisfacción de los clientes.

Este trabajo presenta un análisis de las características del personal técnico y su servicio postventa en la empresa colombiana Tecnova Intercomercial, enfocándose en determinar propuestas de solución para la asignación de recurso humano a visitas empresariales y su respectivo problema de ruteo que permita la satisfacción de los clientes con respecto a las políticas de la compañía. El objetivo de esta investigación en el proyecto de grado es proporcionar un modelo de optimización matemático de programación lineal entera mixta para diseñar la planificación semanal de las visitas técnicas y comerciales a clientes por parte del personal especializado de Tecnova aumentando la productividad de la actividad laboral; considerando múltiples tipos de personal, ventanas de tiempo, múltiples puntos de inicio y múltiples periodos para su horizonte de planeación. Durante el desarrollo del proyecto se pudieron encontrar las rutas diarias que deben realizar los técnicos con su respectivo nivel de participación en dos escenarios diferentes, el primero tomando tiempos de viaje deseados libres de demoras y el otro, dónde un factor escalar afecta directamente dicho tiempo para generar demoras establecidas en la realidad durante la movilización dentro de la ciudad de Bogotá.

Palabras clave: asignación de personal, ruteo de personal, visitas técnicas empresariales, servicio postventa.

ABSTRACT

Given the competitive environment that today occurs in organizations due to globalization and open markets, a method of competitive advantage is the optimization of processes and activities. This optimization leads to greater efficiency of operations reflected in an increase in productivity of the company in question. The correct allocation of personnel and resources in a company and / or project is a determining factor to establish the level of productivity and performance of the workforce as well as customer satisfaction.

This work presents an analysis of the characteristics of the technical staff and their after-sales service in the Colombian company Tecnova Intercomercial, focusing on determining solution proposals for the allocation of human resources to business visits and their respective routing problem that allows customer satisfaction. regarding company policies. The objective of this research in the degree project is to provide a mixed integer linear programming mathematical optimization model to design the weekly planning of technical and commercial visits to clients by Tecnova's specialized personnel, increasing the productivity of work activity, considering multiple types of personnel, time windows, multiple starting points and multiple time frames for your planning horizon. During the development of the project, it was possible to find the daily routes that the technicians must carry out with their respective level of participation in two different scenarios, the first taking desired travel times free of delays and the other, where a scalar factor directly affects said time to generate delays established in reality during the mobilization within the city of Bogotá.

Keywords: Staff assignment, staff routing, technical company visits, after-sales service.

INTRODUCCIÓN

La competitividad del mundo moderno ha generado la necesidad de que el personal administrativo y técnico tenga una mejor preparación para el mercado laboral. Las empresas buscan mejorar cada día sus conocimientos y procesos para lograr un incremento en la productividad y en los indicadores de desempeño y desarrollo.

Uno de estos indicadores y elemento más importante en la cadena de una empresa de servicios y/o productos es el servicio posventa, utilizados principalmente para poder describir los servicios entregados después de la entrega de un producto determinado con la finalidad de apoyar el uso de dicho producto durante su ciclo de vida (Gaiardelli et al., 2007). En el caso de estudio de este proyecto, Tecnova vende maquinaria importada (inyectoras, sopladoras y sus respectivos periféricos) en Colombia y es representante de una empresa extranjera llamada Haitian. Al momento de una venta se establece con el cliente un servicio posventa en el cual se asegura el correcto funcionamiento de la máquina por medio de visitas laborales cuando son requeridas por el cliente.

Para la programación de visitas y mantenimientos es fundamental establecer estrategias para la optimización de la utilización de los activos y recurso humano disponible así como de los costos asociados al ciclo de vida de los productos y servicios (Sagarna et al., 2016). Durante la programación de las visitas realizadas por los técnicos de Tecnova, dependiendo del tipo de visita, se logra prestar un servicio de calidad siempre pensando en la satisfacción del cliente y el reconocimiento nacional que esto trae para la compañía.

La asignación de recurso humano a diferentes tareas tuvo su origen durante la revolución industrial, ya que las nuevas máquinas necesitaban un trabajador para poder realizar la tarea asignada. “Thomas Jefferson en 1792 lo sugirió para asignar un representante a cada estado, pero formalmente aparece este problema en 1941, cuando F.L. Hitchcock publica una solución analítica del problema. Pero no es hasta

1955 cuando Harold W. Kuhn plantea el método húngaro, que fue posteriormente revisado por James Munkres en 1957. Dicho método está basado fundamentalmente en los primeros trabajos de otros dos matemáticos húngaros: Dénes Köning y Jenö Egervary” (OPTIMIZACIÓNII, 2016).

Las visitas técnicas empresariales asignadas a un trabajador son un servicio posventa que prestan compañías tanto de productos como de servicios las cuales desean realizar un seguimiento postventa de sus productos y generar una estrategia que logre cercanía, confianza y familiaridad con los stakeholders presentes como clientes y proveedores.

En la ilustración 1, representada por un diagrama de flujo de la cadena de procesos de Tecnova para prestar su servicio post venta de visitas se pueden evidenciar las diferentes actividades que se realizan en la empresa entre la venta de una máquina y la finalización del servicio postventa dependiendo del tipo de visita que requiera el cliente.

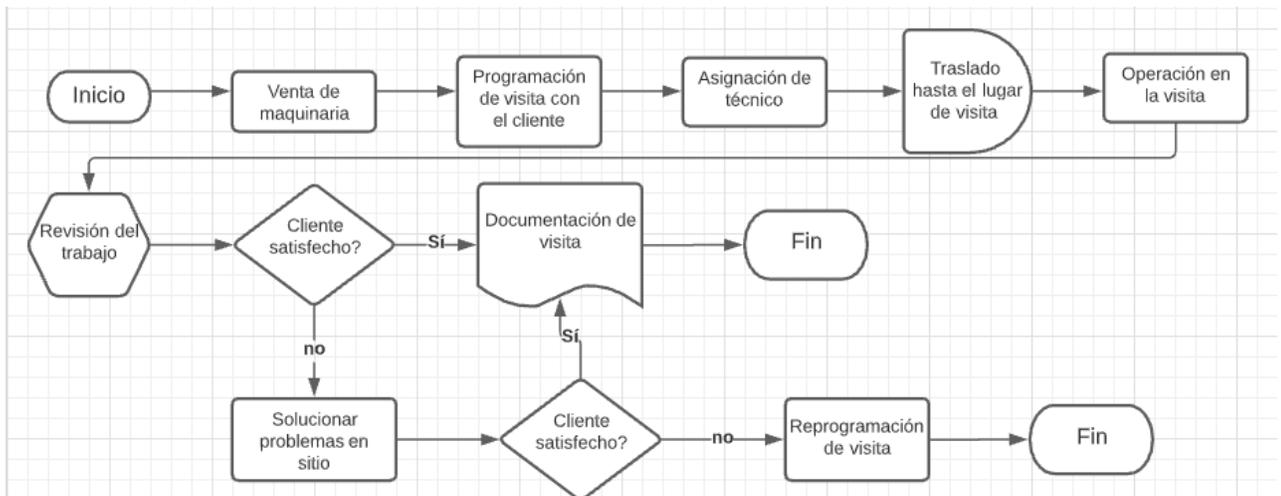


Ilustración 1 Diagrama de flujo procesos posventa Tecnova (elaboración propia)

Después de concretar la venta lo primero que se realiza es la instalación y programación del panel de control de la máquina para que quede en total funcionamiento, luego de esto, dependiendo de algún problema técnico o un tema comercial a tratar con el cliente se acuerda una visita por parte de algún miembro del equipo de trabajo de la empresa el cual se traslada al lugar acordado de la visita, se realiza el trabajo correspondiente acordado y se registra la actividad con la verificación de satisfacción del cliente, si existe algún problema se puede reasignar la visita o darle inmediata solución.

Para poder generar un flujo correcto de las visitas mencionadas, es necesario tener los implementos correctos y una estrategia efectiva en cada sección planteada durante la visita requerida, así como los técnicos capacitados y con el pleno conocimiento de la situación y la atención al cliente.

Dentro de las visitas, una correcta asignación, planificación, coordinación y ruteo son esenciales para generar un servicio postventa de excelente calidad. El problema de asignación y ruteo de personal, en este caso, técnicos especializados presenta dos situaciones o problemas para analizar, el primero, la asignación de personal dependiendo las tareas a realizar y las cualidades del recurso humano (Ojeda Villagómez, 2012, Alberto et al., 2014, Gómez et Tello al., 2017), donde se contemplan las múltiples habilidades del recurso humano en correspondencia a las tareas que se deben asignar para cada uno y el segundo, las rutas de visita que tienen que cumplir los técnicos especializados para cumplir con el cliente, basándose en problemas de ruteo Vehicle Routing Problem (David Cortes & Suzuki, 2020; Eliana Mirledy et al., 2016), donde se busca optimizar las rutas y las distancias a recorrer en determinada tarea donde el desplazamiento se encuentra como evento indispensable dentro de la cadena de la actividad.

En este trabajo el objetivo de la programación semanal de técnicos especializados es asignar dichos miembros de la compañía Tecnova Intercomercial a una serie de visitas de servicio postventa, encontrando la mejor ruta posible. Dicha programación

se realiza dependiendo el tipo de visita y las características de los técnicos para lograr asignar el técnico mayor capacitado dependiendo el tipo de visita.

Dentro de la problemática planteada es importante recalcar que se utilizan ventanas de tiempo duras para realizar las visitas dadas por cada uno de los clientes, es decir, que no se permiten las visitas de técnicos en horarios diferentes a los establecidos, de igual manera, no se tiene un depósito general de dónde los técnicos salen para realizar las visitas, cada uno inicia y termina en su hogar o residencia, teniendo un problema multi-depósito.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Con el presente trabajo se quiere entregar una herramienta que represente la toma de decisiones para la asignación del personal técnico a las visitas postventa en la empresa Tecnova Intercomercial, dependiendo de las características dadas por parte del staff de la compañía, para esto se requiere un modelamiento matemático representante de la problemática que permita una solución óptima según los parámetros establecidos. Este problema de programación se denominaría Multi-Traveling Salesman Problem with Time Windows, Multi-Depot and Multi-Period (MTSPTWMDMP), integrando modelos de traveling salesman problem (TSP), vehicle routing problem (VRP) con sus respectivas ramas como lo son multi depósito, multi periodo y problemas con ventanas de tiempo.

El modelamiento utilizado es la programación lineal entera mixta para obtener una función objetivo de minimización de tiempo de operación, entendiendo esta como el tiempo de desplazamiento más el tiempo de trabajo, aumentando la productividad de los técnicos en sus visitas de servicio postventa para satisfacción de los clientes.

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

La estructura del documento comienza con el primer capítulo en dónde se puede encontrar la descripción de la problemática que abarca el proyecto de grado junto con la justificación y objetivos. Seguido se encuentra el segundo capítulo con la información relacionada a la metodología usada durante el desarrollo del trabajo. En el tercer capítulo se encuentra el marco conceptual, dividido en marco teórico, donde se describe el lenguaje y qué tipo de problema es y el estado del arte el cual muestra el contexto de la investigación y busca novedades de esta. En el cuarto capítulo se encuentra el modelo matemático desarrollado con su respectiva formulación y en el quinto capítulo se presentan los resultados del modelo en el caso de estudio.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMA

Tecnova Intercomercial es una empresa de importación de maquinaria que brinda soluciones tecnológicas en la industria del plástico, al prestar un servicio de venta y postventa de maquinaria importada. En este documento se aborda el análisis del servicio de las visitas que realizan los técnicos de la empresa a los clientes; donde se encuentran visitas técnicas (mantenimiento, diagnóstico, repuestos) y comerciales que se realizan a las empresas clientes de Bogotá y la sabana.

De acuerdo con diferentes políticas de Tecnova Internacional, las visitas que se realicen a clientes deben responder a las necesidades de estos y al mismo tiempo beneficiar a la empresa, esto a través de servicios de venta y postventa. Actualmente se realizan dos tipos de visitas: comerciales y técnicas. Dentro de las visitas comerciales se encuentran: visitas de cortesía (dónde se pretende conocer al cliente, observar las necesidades y posibles requerimientos que tenga en su

empresa y/o negocio) y visitas de asesoramiento (en las cuales se establece la mejor opción de maquinaria para el cliente con sus respectivas características técnicas, precio, beneficios y diferentes condiciones de venta). Para el caso de estudio las visitas comerciales se estudiarán como un conjunto unido. Por otro lado, las visitas técnicas se relacionan al diagnóstico, mantenimiento y arreglo de los equipos vendidos, además de los posibles cambios de repuestos que pueden ocurrir durante el periodo de garantía de los equipos. Estas visitas son de prioridad alta y de atención inmediata para Tecnova, ya que en la industria del plástico la productividad de las empresas muchas veces se mide en horas de funcionamiento de la maquinaria, y por ende las empresas clientes no están dispuestas a detener sus procesos productivos.

Los técnicos en Tecnova, en su mayoría, son ingenieros mecánicos con un amplio conocimiento de maquinarias y procesos, los más experimentados tienen deberes comerciales y de ventas, encargados de hablar directamente con el cliente. Los más recientes dedican la mayoría de sus deberes a visitas técnicas. Actualmente en Tecnova trabajan cinco técnicos para realizar los diferentes tipos de visita en la sabana de Bogotá, y dependiendo características de la visita como el tiempo requerido, complejidad y la calidad del servicio, se requiere la asignación del técnico más apropiado para cada servicio.

En muchas ocasiones hay visitas que se programan, pero no se realizan, ya sea por falta de personal o resultado de una mala planeación de los técnicos. Según el gerente comercial de Bogotá de la empresa en promedio hay de 6 a 8 visitas que no se realizan semanalmente, es decir, una visita diaria o más. Adicionalmente, el orden en que se realizan las visitas a los clientes cada día se determina por discreción del técnico, y teniendo en cuenta los altos niveles de tráfico que grandes ciudades como Bogotá pueden tener, también genera ineficiencias en la operación que conlleva a incumplimientos en las visitas.

Tecnova no cuenta con un plan de asignación de técnicos ni tampoco un plan de las rutas que deben seguir. Teniendo en cuenta que el número de clientes en los últimos años ha aumentado en un 50% aproximadamente, y los técnicos que trabajan siguen siendo cinco (5), excluyendo al gerente comercial, el cual, puede realizar las funciones de los técnicos en la visita, la planeación de personal para realizar las visitas a los clientes se hace cada vez más complicado.

1.2 PREGUNTA DE MEJORA EMPRESARIAL

De acuerdo con el problema descrito anteriormente, una eficiente planeación de los técnicos permitiría mejoras en los tiempos de respuesta en la operación y una mayor calidad en el servicio prestado, entre otros. Adicionalmente la optimización de las rutas que se realicen para realizar las visitas a los clientes permitiría una mejora en los tiempos de respuesta de la operación. A partir de esto, se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo solucionar el problema de asignación y ruteo de técnicos de la empresa Tecnova Intercomercial para realizar las visitas diarias a empresas cliente en la sabana de Bogotá?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Dentro de un proyecto o una compañía existen diferentes acciones y procesos que se deben ejecutar con la mejor precisión y responsabilidad, siguiendo parámetros establecidos dentro de los tiempos otorgados; para esto es necesario que los operarios y/o empleados que desarrollan ciertas actividades sean los indicados para cumplir la labor, dependiendo de las características de la acción como del personal. Es una necesidad de las empresas poder encontrar ese punto óptimo aproximado

donde la productividad y beneficios se van a reflejar en la gestión diaria realizada por los técnicos y evaluada por los altos mandos gerenciales de la empresa. En el caso de servicios en sitio, además de la programación en la asignación del personal se deben establecer las rutas que se deben manejar para una gestión eficiente del tiempo y los medios con que se va a alcanzar el objetivo de llegar a la visita en el momento preciso y desarrollar su tarea sin contratiempos.

La programación y planificación de la mano de obra y personal técnico dentro de una empresa de servicios es una parte clave del soporte que brinde la compañía dentro de sus políticas empresariales, es de vital importancia estudiar y coordinar la relación entre nivel de personal y cliente, las distancias de viaje y la calidad del servicio (Tang et al., 2008).

Dentro de Tecnova no existe un plan de asignación del personal para cada visita, el gerente comercial por su experticia en el tema escoge el técnico que debe ir a cada visita y cada día tiene un patrón totalmente diferente, ya que las demandas de visitas cambian constantemente de acuerdo con las necesidades del cliente o los futuros cierres de negocio que se estén ejecutando. Dicha falta de planeación genera demoras o incumplimientos en las visitas programadas, provocando una imagen no deseada frente a clientes y deficiencias en la calidad del servicio postventa prestado.

Se propone una herramienta que permite determinar el plan de asignación y ruteo de técnicos para la empresa Tecnova. Esta herramienta se presenta como apoyo a la toma de decisiones asertivas y en la programación y asignación del recurso humano, y la programación de rutas para ejercer las diferentes operaciones y procesos ejecutados en la labor respectiva minimizando el tiempo de operación al máximo aumentando la productividad de los técnicos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de asignación y ruteo para las visitas técnicas y comerciales a clientes por parte de los técnicos de Tecnova en la sabana de Bogotá.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variables, parámetros y restricciones asociadas a la asignación y ruteo de personal técnico.
- Diseñar un modelo de programación matemático que permita caracterizar las operaciones de asignación y ruteo de personal técnico para aumentar la productividad del personal en el caso de estudio.
- Verificar el modelo de programación a partir del caso de estudio.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, la problemática del caso Tecnova se centra en la asignación del recurso humano que posee la empresa a las visitas que realizan los técnicos a los clientes, y el ruteo que estos tienen que seguir para poder llegar a su destino. Más específicamente, la asignación de los técnicos especializados que van a atender un cliente específico y la ruta o secuencia en que los clientes son visitados.

Para poder desarrollar dichos conceptos se usan metodologías de investigación como la investigación de operaciones, la cual es la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas (hombre-máquina), a fin de que se produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos de la organización (Roberto Carro , 2009).

Un elemento principal de la investigación de operaciones es el modelado matemático. Aunque la solución del modelo matemático establece una base para tomar una decisión, se deben tener en cuenta factores intangibles o no cuantificables, por ejemplo, el comportamiento humano, para poder llegar a una decisión final (Ariza & Llinás, 2019).

La caracterización de la problemática a través de un modelo matemático permite analizar los recursos, limitantes y dinámicas de la operación de una manera holística, esto a partir de una herramienta computacional se podrán evaluar escenarios y determinará un instrumento de apoyo a la toma de decisiones sobre la operación (Torres-Ramos Andrés F., 2015).

La asignación de personal o de recursos humanos se entiende por la acción de asociar a cada una de las tareas de un proyecto las personas necesarias para que este se pueda desarrollar de manera exitosa, teniendo en cuenta los perfiles y cualidades propias de cada candidato (Calvo et al., 2005). Las tareas y labores dentro de un campo corporativo van cambiando y construyendo diferentes características mediante el tiempo, y los avances de toda índole siguen generando transformación en el mundo, con estos cambios también se necesita el personal preciso y específico para ciertos cargos y ciertas responsabilidades, dependiendo de las capacidades y habilidades de cada uno de los candidatos.

A continuación, se describen las actividades a realizar y los datos a encontrar por etapas dentro de la metodología a seguir (investigación de operaciones y modelamiento matemático).

2.1 ETAPA 1

Para analizar la problemática primero se debe recopilar la información y datos necesarios de la empresa, dependiendo el énfasis que se vaya a dar. En este caso de estudio en particular es importante conocer información relacionada a clientes, recurso humano, productos, tiempos, transporte, visitas, etc. Para definir características propias del problema, se tiene que identificar los tipos y la caracterización tanto de las visitas como de los técnicos, y asociar las habilidades encontradas del personal técnico a los diferentes tipos de visitas.

Seguido a la recopilación de información, se debe acudir a la revisión bibliográfica para tener una base clara de los métodos de desarrollo de este tipo de problemática.

El problema de asignación de personal y/o técnicos a una tarea específica combinado con el ruteo y movilización de dicho personal desde un punto de partida A hasta un punto de llegada B, se puede definir como un multiperiod traveling salesman problem with multi depot, es decir, el problema del vendedor viajero con múltiples puntos de partida, ya que cada uno de los técnicos dentro del caso de estudio de la empresa Tecnova, no salen de un punto en común, sino cada uno desde sus hogares hacia el primer punto de destino para realizar la visita encomendada.

Teniendo esto en cuenta, para buscar información adecuada que, de pie a la investigación, se tomaron en cuenta los siguientes términos de acuerdo a los lineamientos de la problemática y la experiencia del estudiante y tutor dentro de las búsquedas en base de datos: traveling salesman problem, scheduling problem, assignment problem, workforce scheduling.

Se recolectaron 16 papers iniciales de acuerdo a los términos de búsqueda mencionados anteriormente que se asemejaban al problema que se estaba tratando, con criterios de inclusión de acuerdo a problemas matemáticos de

asignación, ruteo, programación de fuerza de trabajo y problema del agente viajero dentro de un periodo de búsqueda de 5 años; también se buscaron reviews de dichos temas para conocer su clasificación, como lo realiza (Dilson Lucas Pereira, 2020) en su artículo *A Multiperiod Workforce Scheduling and Routing Problem with Dependent Tasks* en el que sintetiza en un cuadro mostrado en la tabla 1, se logra ver que se clasifica en varios atributos según el autor, los cuales son multi periodo, ventanas de tiempo, distancia de viaje, habilidades heterogéneas, habilidades homogéneas, construcción de equipos, precedencia, outsourcing y tareas conectadas. Para este caso de estudio de Tecnova no se tomarán en cuenta los atributos de construcción de equipos, outsourcing y tareas conectadas ya que la definición del problema no tiene dichos aspectos dentro de sus características, sin embargo, el resto de los atributos mencionados harán parte de la definición de características para la problemática estudiada.

Tabla 1 Características de la asignación y problemas de ruteo de la fuerza de trabajo encontrados en la literatura

Characteristics of Workforce Scheduling and routing problems found in the literature										
Attributes										
Reference	M.P	T.W	T.D	HetS	HomS	T.B	Prec	Out	C.A	Contributions
Alfares	✓	✓	✓	✓	✓	✓				Survey (sol. Methods)
Algethami et al.		✓	✓	✓					✓	Genetic Algorithm
Anoshkina and Meisel			✓	✓		✓				Bi-level decomposition
Bostel et al.	✓	✓	✓							Hybrid
Castillo-Salazar et al.		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Survey (WSRP features and sol methods)

Chen et al.	✓	✓	✓	✓						Hybrid
Chen et al.	✓			✓						Dynamic programming, experience- based service times
Cordeau et al.	✓			✓		✓	✓	✓	✓	ALNS
Dohn et al.		✓	✓	✓		✓			✓	Branch and Price
Estellon et al.	✓			✓		✓	✓	✓	✓	Heuristics
Firat and Hurkens	✓			✓		✓	✓	✓	✓	Hybrid
Khalfay et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Survey (WSRP features and sol methods)
Kovacs et al.		✓	✓	✓		✓				ALNS
Mathlouthi et al.		✓	✓	✓		✓				Tabu search
Mosqueda et al.	✓	✓	✓	✓					✓	Hybrid metaheuristic
Pillac et al.		✓		✓						ALNS
Pillac et al.		✓		✓						Hybrid
Rasmussen et al.	✓	✓	✓	✓		✓			✓	Branch and Price
Solomon		✓	✓		✓					Heuristics
Tang et al.	✓		✓		✓					Tabu search
Tricoire et al.	✓	✓	✓		✓					Branch and Price
Zamorano and Stolletz	✓	✓	✓	✓		✓				Branch and Price
Zamorano et al		✓	✓	✓		✓				Branch and Price

MWSRPDT	✓	✓	✓	✓	✓	MIP model and ACO
---------	---	---	---	---	---	-------------------

Legend: M.P-Multiperiod; T.W- Time windows; T.D – Travel distance; HetS – Heterogeneous Skills; HomS – homogeneous Skills; T.B – Team building; C.A Connected Tasks

Fuente: tomada de (Dilson Lucas Pereiraa, 2020)

Se analizaron todos los papers recolectados de la tabla 1 para poder establecer las características que contenía cada uno dentro de la clasificación anteriormente mencionada. Se creó una nueva tabla (tabla 2) en la cual se colocó a Tecnova en la última casilla con sus propias características para poder comparar con los otros papers, cuales tenían mayor relación al caso estudio (mayor cantidad de X iguales que Tecnova). En esta clasificación nos dio un total de 6 papers identificados en la tabla 3 que tenían características similares a las estudiadas en este caso de estudio.

Nota: La tabla 1 es tomada del autor Dilson Lucas Pereira (2020) y en la tabla 2 se relacionan los parámetros de la tabla 1 con el caso de estudio Tecnova.

Tabla 2 Definición de características Papers y caso de estudio.

Paper	MP	VT	DV	SHT	SHM	PR
(Mosayebi et al., 2021)			X		X	
(Chen et al., 2021)			X	X		
(Ome et al., 2020)	X	X	X	X		X
(Lyu & Yu, 2020)			X	X		
(Çakırgil et al., 2020)	X	X	X	X		
(Dilson Lucas Pereiraa, 2020)	X	X	X	X		X
(Yuan et al., 2020)		X	X		X	X
(Nasir & Kuo, 2020)	X	X	X	X		X
(Bock & Klamroth, 2019)			X	X		

(Benavent et al., 2019)			X		X	X
(Moussavi et al., 2019)	X	X	X	X		X
(Karam et al., 2017)				X		X
(Zamorano & Stolletz, 2017)	X	X	X	X		X
(Calvo et al., 2005)				X		
(Torres-Ramos Andrés F., 2015)	X	X	X	X		X
Caso de estudio: Tecnova	X	X	X	X		X

Abreviaturas: MP=Multi-periodo. VT= Ventana de tiempo. DV= Distancia de viaje. SHT= Skills heterogéneos. SHM= Skills homogéneos. PR= Precedencia

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo con el análisis de los trabajos, se identificaron dos cosas importantes para poder determinar la ruta adecuada en el proceso del caso de estudio, el tema de los papers y su método de solución, generando la siguiente tabla:

Tabla 3 Tema y método de solución Papers.

Artículo	Solución	Tema
(Ome et al., 2020)	Formulación de programación lineal de enteros mixtos (MILP) para el MPWSRP, y han desarrollado una matemática basada en ALNS y un algoritmo de descomposición (DA)	Problema de enrutamiento y programación de la fuerza laboral de varios períodos
(Çakırgil et al., 2020)	Modelo de programación de enteros mixtos para encontrar soluciones óptimas de Pareto	Problema de programación y enrutamiento de la fuerza laboral de habilidades múltiples
(Dilson Lucas Pereira, 2020)	Modelo de programación de enteros mixtos	Problema de enrutamiento y programación de la fuerza laboral de múltiples períodos con tareas dependientes

(Moussavi et al., 2019)	Modelo matemático de enteros mixtos	Problemas de asignación de trabajadores y de generación de rutas para vehículos
(Zamorano & Stolletz, 2017)	Programa de enteros mixtos y algoritmo de precio y sucursal para resolver este problema.	Basado en problemas de programación y enrutamiento de técnicos de períodos múltiples (MPTRSP)
(Torres-Ramos Andrés F., 2015)	Modelo de programación lineal entera mixta	Problema de vendedor de múltiples viajes con ventanas de tiempo, múltiples depósitos y períodos múltiples

Fuente: Elaboración propia

Teniendo como base esta tabla, se puede concluir que el método de solución para los papers relacionados fue el mismo en todos, mixed-integer linear programming model, es decir, modelo de programación lineal entera mixta, el cual se va a utilizar para poder formular y resolver el caso de estudio actual.

Dicho esto, y teniendo en cuenta el método de solución, se revisa el planteamiento del problema y la formulación de los artículos relacionados, para poder identificar las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones del caso de estudio, haciendo énfasis en puntos comunes de acuerdo con las características generalizadas anteriormente.

2.2 ETAPA 2

Después de una revisión en la literatura de la problemática, donde se concluye el tipo de modelo que se va a desarrollar (modelo de programación lineal entera mixta) de acuerdo a los atributos seleccionados en la tabla 2, por medio de la cual se encuentran una serie de artículos relacionados al problema estudiado mencionados en la tabla 3, se procede a la formulación del modelo matemático que caracterice la problemática del caso de estudio de acuerdo con la información recolectada y la caracterización mencionada previamente, definiendo las variables del modelo, su

función objetivo, parámetros y restricciones, seguido de seleccionar adecuadamente el software a utilizar para procesar el modelo.

La formulación del modelo se explica detalladamente en el capítulo de modelamiento matemático.

2.3 ETAPA 3

Se tiene que realizar un análisis de la ejecución del modelo para poder determinar si los resultados tienen sentido de acuerdo con la información recolectada y su funcionalidad dentro de los criterios del caso de estudio; se procede a analizar los resultados mostrados en el capítulo caso de estudio.

La verificación y validación del modelo se realiza a partir de sus resultados armando y revisando las rutas establecidas por el modelo y que las restricciones se cumplan a cabalidad, en dónde se hizo énfasis en que todos los clientes fueran visitados por lo menos una vez en el horizonte de tiempo establecido (una semana laboral) y que solamente un técnico hiciera la visita por día, de igual manera las ventanas de tiempo de los clientes tenían que cumplirse comparando la hora de llegada del técnico a la empresa del cliente. Se incluyó un indicador de nivel de participación sencillo ($\% Participación = \frac{\text{Número de visitas por técnico a realizar}}{\text{Número total de visitas}} * 100$) de los técnicos para comparar dos escenarios. El primero, tomando tiempos de viaje y desplazamiento ideales sin demoras de tráfico y demás factores externos y el segundo aumentando el tiempo de viaje dependiendo de un factor escalar que puede asemejar la realidad en la ciudad de Bogotá.

De igual manera se realizó un análisis de sensibilidad para verificar los cambios que pueda sufrir el modelo por las variaciones en diferentes variables y parámetros.

En el siguiente diagrama se ilustran las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto para poder cumplir los objetivos planteados dentro del marco establecido por la institución.

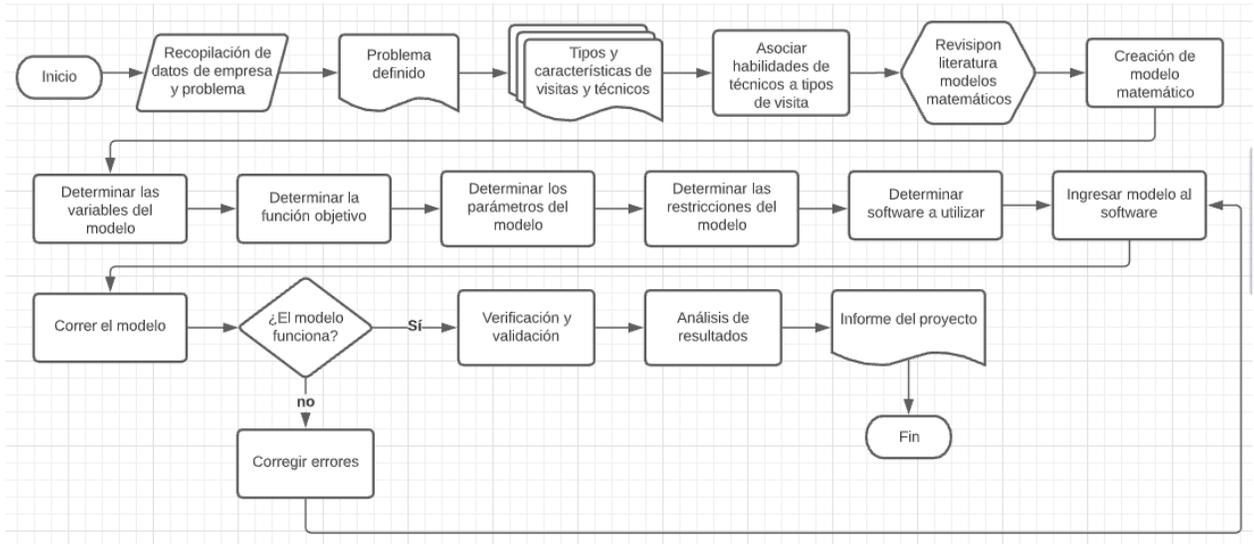


Ilustración 2 Diagrama de flujo proyecto (Actividades) (elaboración propia)

El análisis del modelo y sus resultados se encuentran en el capítulo caso de estudio.

MARCO CONCEPTUAL

3.1 MARCO TEÓRICO

La problemática de la empresa Tecnova Intercomercial para este proyecto de grado se basa en la asignación y ruteo de técnicos especializados a los clientes, dependiendo del tipo de visita requerida durante una semana de jornada laboral, servicio posventa prestado por la compañía en estudio. Para poder exponer el problema dentro de un marco teórico, se define como Multi-Traveling Salesman Problem with Time Windows, Multi-Depot and Multi-Period (MTSPTWMDMP), es decir, un problema múltiple de agente viajero con ventanas de tiempo, múltiples

puntos de partida y múltiples periodos. Dicha definición presenta sus bases principalmente en la investigación de operaciones, ruteo de vehículos, asignación de personal, fuerza de trabajo y servicio posventa como se menciona a continuación.

3.1.1 Investigación de operaciones.

“La investigación de operaciones es la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas (hombre-máquina), a fin de que se produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos de la organización” (Roberto Carro, 2009).

Como su nombre lo dice, la investigación de operaciones refiere a la interacción y gestión de operaciones y actividades dentro de una organización y sus relaciones directas e indirectas con los actores representantes, generando un sinfín de aplicaciones. “Una decisión es una elección razonada entre alternativas. La toma de decisiones forma parte del tema más amplio de solución de problemas. Si bien la ciencia de la administración puede utilizarse para construir un modelo matemático, no sirve si la comunicación del resultado es demasiado compleja para el decisor” (Roberto Carro, 2009).

Dentro de la investigación de operaciones no solamente se hace énfasis de la parte matemática en pro de solucionar una problemática, sino, en la toma de decisiones al final del resultado del modelo por medio de análisis sensibles de la información, al final de cuentas, el modelo no es el que toma la decisión, por el contrario, solamente se convierte en una guía para que la alta gerencia de las compañías decida si se aplica su solución o si van a hacer cambios (Roberto Carro, 2009).

Para hacer uso correcto de la investigación de operaciones, el modelado matemático es fundamental, cuyo resultado establece un punto de partida para la toma de decisiones, hay que tener en cuenta otros factores diferentes intangibles,

tales como la independencia y razonamiento del ser humano para tomar una decisión final (Ariza & Llinás, 2019).

Por su parte el modelo, definido según el diccionario de la lengua española, esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento (Española, Diccionario de la lengua española).

Dentro de estos modelos hay varias etapas de desarrollo, la identificación del problema, la especificación matemática y la formulación, la resolución mediante diferente software, la verificación, validación y refinamiento, la interpretación y análisis de resultados y por último la implantación, documentación y mantenimiento (Torres-Ramos Andrés F., 2015).

3.1.2 Ruteo de vehículos.

“El problema de ruteo de vehículos VRP (Vehicle Routing Problem) es un problema complejo de optimización combinatoria, constituye un problema importante de transporte que consiste en determinar el número de vehículos y las rutas que seguirán cada uno de estos vehículos con el fin de distribuir unos productos entre una serie de clientes. El objetivo es minimizar el costo de transportar estos productos” (Olivera, 2004).

El problema de ruteo de vehículos se puede aplicar en muchos escenarios empresariales y corporativos, generando una solución de transporte y de orden para realizar un proceso o gestión que se esté buscando mejorar, sin necesidad de la distribución de productos sino el poder llegar al lugar del destino para prestar un servicio sin demoras, disminuyendo tiempos de desplazamiento y de costos de operación (Zamorano & Stollitz, 2017).

Existe una estimación que los costos de transporte en la distribución de productos a usuarios finales oscila entre el 10% y el 20% del costo final de los bienes, teniendo en cuenta dicho costo, es necesario obtener una planificación del transporte por

medio de herramientas de investigación de operaciones para facilitar considerables ahorros (Olivera, 2004). Con este alto porcentaje de ahorro, cabe plantearse manejar soluciones para el ruteo cuando una empresa lo necesita para su gestión de operaciones, la disminución de costos de operación generará un gran beneficio para las finanzas y crecimiento corporativo y la logística de los procesos evitarían demoras y reprocesos.

Para poder gestionar estos problemas, es necesario realizar un trabajo de investigación de bases de datos de geocalizaciones de clientes y de posibles rutas con un punto de partida y diferentes puntos de llegada para cada vehículo, caracterizando por medio de rúbricas los diferentes actores presentes dentro de la problemática (Olivera, 2004).

Si se combina la solución del problema de ruteo sumado con una asignación efectiva de personal diferenciando las características del servicio prestado, se puede encontrar una solución óptima para empresas prestadoras de servicios postventa donde sus empleados requieren realizar diferentes visitas como labor diaria.

3.1.3 Asignación de personal.

La asignación de personal o de recursos humanos se entiende por la acción de asociar a cada una de las tareas de un proyecto las personas necesarias para que este se pueda desarrollar de manera exitosa, teniendo en cuenta los perfiles y cualidades propias de cada candidato. (Gómez et Tello al., 2017). Las tareas y labores dentro de un campo corporativo van cambiando y construyendo diferentes características mediante el tiempo, y los avances de toda índole siguen generando transformación en el mundo, con estos cambios también se necesita el personal preciso y específico para ciertos cargos y ciertas responsabilidades, dependiendo de las capacidades y habilidades de cada uno de los candidatos (Calvo et al., 2005).

La flexibilidad laboral en las organizaciones es esencial para lograr el desarrollo empresarial esperado, donde se identifica la flexibilidad interna y externa. “La primera (interna) se refiere al manejo interno de su fuerza laboral”, es decir, realizar la asignación en pro de las necesidades de adaptarse, “y la segunda (externa) es la que se ayuda de agentes externos para la satisfacción de su demanda laboral”. (Calvo et al., 2005). La adaptabilidad de la empresa hacia los empleados y de los trabajadores hacia la empresa, generan una empatía laboral en la cual la flexibilidad de asignación queda relegada a experiencias más no a herramientas sofisticadas que aseguren la correcta y óptima asignación de recursos.

La llamada Asignación de personal, mejor conocida como Asignación de tareas, “se considera la tercera fase del problema de Organización del tiempo de trabajo (OTT)”, según lo descrito por (Corominas y Pastor, 2000). Elemento esencial para una productividad eficaz dentro de la compañía, donde se establecen diferentes métricas para la evaluación del desempeño de los recursos en los deberes realizados. Sin una asignación de personal y tareas eficiente se estaría incurriendo en reprocesos y sobrecostos operativos que generarían un bache en el desarrollo de la corporación (Corominas y Pastor, 2000).

3.1.4 Problema del agente viajero, problemas de ruteo y programación de fuerza de trabajo.

“El problema del agente viajero o TSP por sus siglas en inglés (Travelling Salesmen Problem) es uno de los problemas más famosos y complejos de las ciencias computacionales y ha sido abordado por varias ramas de la ingeniería y por distintas razones, su principal aplicación es la de rutear desde distintas perspectivas, ya sea un proceso que lleva una secuencia específica o una distribución de carácter logístico en la que intervienen elementos del transporte, buscando la mejor ruta posible con criterios de economía en distancia o en costo” (López et al., 2014).

El problema del agente viajero es un problema de optimización combinatoria en la que una persona visita sólo en una ocasión cada una de las localidades definidas y se regresa al punto de partida; se deberá localizar la ruta que presente la distancia más corta y a ésta se la conoce como la ruta óptima (Moon, 2002).

En este caso de estudio la aplicación del problema del agente viajero en conjunto con problemas de ruteo y programación y asignación de fuerza de trabajo es esencial para poder establecer una solución óptima, ya que, debido a las características de la problemática y el planteamiento inicial se deben reunir varios conceptos y modelos para poder trabajarlos en uno solo, generando un aporte de investigación y programación matemática.

En la industria de los servicios es fundamental lograr la gestión del recurso humano y trabajadores calificados para realizar las actividades propuestas de la empresa, de igual manera cada uno tiene diferentes habilidades y características que pueden servir o no para ciertos trabajos especializados o para formar equipos en conjunto que apoyen en la solución de un problema. Los diferentes tipos de trabajos a realizar pueden ser un reto para los técnicos y la programación de dichos trabajos puede tornarse una tarea difícil de realizar ya que debe ir acompañada de la correcta asignación de los recursos y el enrutamiento definido por cada uno para seguir el plan de acción determinado (Ome et al., 2020).

3.1.5 Servicio posventa.

Un elemento importante para estudiar durante la cadena de una empresa de servicios y/o productos es el servicio posventa, utilizados principalmente para poder describir los servicios entregados después de la entrega de un producto determinado con la finalidad de apoyar el uso de dicho producto durante su ciclo de vida (Gaiardelli et al., 2007) con un objetivo claro de satisfacer las necesidades del cliente y brindar garantías de lo que ofrecen.

(Hisashi Kurata, 2010) definen el servicio posventa como cliente, producto y soporte técnico. “A pesar de que los investigadores han definido el concepto de servicio posventa de manera diferente con respecto a su extensión y función a lo largo de la cadena de valor, todas las definiciones establecidas para ASS tienen dos características comunes”. (Shokouhyar et al., 2020) Las características comunes de las definiciones de ASS son las siguientes:

- El servicio posventa es un proceso orientado al cliente para satisfacer sus necesidades y mantenerlo satisfecho.
- El concepto de servicio posventa representa un proceso multifuncional que es llevado a cabo por diferentes actores.

Dada la competitividad empresarial que se presenta en cada industria, el servicio posventa se convierte en una estrategia realmente importante de diferenciación y ventaja competitiva (Gang Li, 2014).

Dentro de dicha estrategia es importante resaltar que existe un marco de gestión de mantenimiento posventa presentado a continuación:



Ilustración 3 Marco de gestión de mantenimiento posventa, imagen elaborada en español tomando como base el autor (Castellano et al., 2016)

La primera fase abarca la estrategia, resaltando los indicadores con una meta clara de alinear los objetivos operativos y los comerciales, la segunda fase consiste en poder identificar las partes críticas de sistemas de la maquinaria y el servicio prestado para poder encontrar consecuencias de posibles fallas, la tercera fase abarca el análisis de las causas de las partes críticas encontradas en la fase anterior para poder generar soluciones, la cuarta fase consiste en la programación de un plan de mantenimiento durante el servicio posventa prestado en dónde se realiza un cronograma y se establecen los recursos durante la etapa cinco. En la sexta etapa se evalúa el desempeño del plan de mantenimiento, la fase número siete abarca un sistema de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y el costo del ciclo de vida, por último, en la fase ocho se identifica y diseña los servicios posventa relacionados con la administración de la gerencia comercial (Sagarna et al., 2016).

La importancia de conocer y estudiar las anteriores fases es que nos da un punto de partida para la gerencia de las visitas y evaluar la calidad del servicio posventa prestado por la compañía del caso de estudio, esto con el objetivo de poder generar un modelo óptimo que abarque las diferentes características de los actores resolviendo una problemática por medio de una solución matemática.

Para la programación de visitas y mantenimientos es fundamental establecer estrategias para la optimización de la utilización de los activos y recurso humano disponible, así como de los costos asociados al ciclo de vida de los productos y servicios (Sagarna et al., 2016).

3.2 ESTADO DEL ARTE

Como se ha mencionado anteriormente, en este trabajo se quiere construir un modelo denominado Multi-Traveling Salesman Problem with Time Windows, Multi-Depot and Multi-Period (MTSPTWMDMP), integrando modelos de problema del agente viajero y ruteo con ventanas de tiempo, múltiples puntos de partida, multi-periodo y múltiples habilidades en los activos relacionados dentro de la problemática y programación.

Durante la etapa 1 en la metodología se pudo encontrar la orientación adecuada para poder trabajar el caso de Tecnova, descifrando los tipos de modelo utilizados al igual que la forma de construcción de variables, restricciones y parámetros. En el estado del arte se desea conocer dónde se encuentra este trabajo de grado dentro del contexto bibliográfico e investigativo, buscando novedad, aportes propios y la caracterización del modelo según función objetivo, restricciones y metodología heurística.

Dentro de la búsqueda en bases de datos para encontrar trabajos relacionados dentro del contexto del problema planteado, se querían encontrar papers con problemáticas de asignación y ruteo de recursos, con ventanas de tiempo (time

windows), múltiples puntos de partida (multi-depot), múltiples habilidades de los actores (multi-skill) y multi-periodo (multi-period).

Se encontraron dos trabajos con la misma denominación de modelo realizados en la universidad de la Sabana en dónde (Torres-Ramos Andrés F., 2015) realiza una investigación y programación de un modelo de optimización entero mixto para el ruteo y asignación de cuidados médicos domiciliarios, en dónde integra traveling salesman problem with time windows, multi-period and multi-skill; “este trabajo presenta una descripción de las características del personal médico y las restricciones del problema, con el propósito de determinar herramientas que permitan al tomador de decisiones en entidades médicas domiciliarias realizar una eficiente programación de personal y asignación de rutas de visitas a pacientes (Home Health Care Routing and Scheduling Problem, HHCRSP), considerando múltiples tipos de personal, múltiples puntos de inicio y fin de rutas y ventanas de tiempo duras para un horizonte de planeación, esto considerando la incertidumbre en la operación” (Torres-Ramos Andrés F., 2015). De la misma manera (Reyes-Rubiano LorenaS., 2014) realiza un modelo matemático para la programación de personal especializado en logística humanitaria post-desastre. “se enfoca en determinar propuestas de solución para el problema de localización de un punto de distribución y múltiples albergues considerando el riesgo de inundación asociado a la zona, además del problema de ruteo del personal especializado que permita aliviar las calamidades médicas y psicológicas entre otras presentes en la población afectada en una situación postdesastre” (Reyes-Rubiano LorenaS., 2014).

Se encontraron otros papers que, si bien no reunían todas las características de la problemática del caso de estudio analizado, si tenían algunas de ellas que reunían información importante para la construcción del modelo. Guastaroba, Côté y Coelho (2020) desarrollaron un modelo para la programación y enrutamiento de la fuerza laboral de múltiple periodos en una empresa que realiza servicios de instalaciones y mantenimientos de infraestructuras eléctricas, dependiendo de una serie de habilidades de cada operario se asigna el servicio correspondiente con un nivel de

prioridad determinado y un tiempo de servicio asociado en dónde se exige la determinación de un plan de despacho óptimo para atender el conjunto de trabajos dado enrutando un número de equipos sobre un horizonte de planificación finito (Ome et al., 2020).

Por su parte (Dilson Lucas Pereiraa, 2020) estudia un problema de programación y enrutamiento de fuerza laboral multi-periodo con tareas dependientes, en dónde por medio de un modelo de programación mixta de enteros, se pretende dar solución a diferentes tareas y servicios pedidos por el cliente asignando equipos de trabajadores para dicho fin dependiendo de sus capacidades y habilidades; caso similar al de (Çakırgil et al., 2020) en el que se estudia el problema de enrutamiento y programación de fuerza laboral de habilidades múltiples en las operaciones de distribución de electricidad, dado un conjunto de técnicos con diferentes competencias deben cumplir una serie de tareas con prioridad minimizando los costos operativos del trabajo. De la misma manera, (Zamorano & Stolletz, 2017) este documento aborda el problema de programación y ruteo de técnicos en equipos para minimizar los costos de operación dependiendo las habilidades de los actores teniendo en cuenta ventanas de tiempo en los clientes.

Moussavi (2019) realiza un trabajo similar, sin embargo, es aplicado a un modelo de programación de atención médica domiciliaria, en el cual se debe asignar el personal idóneo (dependiendo de sus habilidades y características) para cada paciente dependiendo de los cuidados y/o enfermedad que pueda tener, agregando la dimensión extra de tiempo para que el personal no solo se asigne a los pacientes, sino que también se asigne a períodos diarios (Moussavi et al., 2019).

A continuación, se realizará un análisis de las principales características que tienen los modelos de asignación y ruteo en general.

3.2.1 Características y objetivos de asignación y ruteo de personal.

El análisis del estado del arte que se realiza en este trabajo abarca el tema de modelos de asignación de personal y capital humano según sus características y múltiples habilidades en diferentes factores e instituciones y la gestión diferencial de recursos humanos.

El problema de asignación y ruteo de personal, en este caso técnicos especializados presenta dos situaciones o problemas para analizar, el primero, la asignación de personal dependiendo las tareas a realizar y las características del trabajador (Ojeda Villagómez, 2012, Alberto et al., 2014, Gómez et Tello al., 2017) y el segundo, las rutas de visita que tienen que cumplir los técnicos especializados para cumplir con el cliente, (David Cortes & Suzuki, 2020; Eliana Mirledy et al., 2016) donde se busca optimizar las distancias a recorrer en determinada tarea dependiendo tanto de factores internos como externos a la problemática.

Dentro de los objetivos de las investigaciones consultadas y estudiadas, se puede evidenciar principalmente la minimización de costos operativos totales que acarrear las actividades de asignación de personal (Çakırgil et al., 2020, Sepúlveda Gutierrez al., 2013, Eliana Mirledy et al., 2016), diferenciar y gestionar estratégicamente a distintos grupos de empleados dependiendo sus habilidades (Rivero & Dabos, 2017), y minimizar la cantidad de personal necesaria para poder cubrir la demanda establecida así como los tiempos necesarios para realizar dicha asignación (Ojeda Villagómez, 2012.) (Sepúlveda Gutierrez al., 2013).

En cuanto los desplazamientos y el ruteo, se establecen dos objetivos principales, el primero como se mencionó anteriormente minimizar los costos de operación, especialmente en el tema de transporte y recorridos, (Eliana Mirledy et al., 2016) y segundo, minimizar la distancia recorrida total, dependiendo de los nodos y/o puntos establecidos como puntos de partida y llegada dependiendo el problema a solucionar, (David Cortes & Suzuki, 2020). En la Tabla 4 se pueden evidenciar los trabajos representativos a los objetivos requeridos.

Tabla 4 Objetivos de las investigaciones de asignación y ruteo de recurso humano

Función objetivo	Artículos
Minimizar los costos operativos totales	(Çakırgil et al., 2020, Sepúlveda Gutierrez al., 2013, Eliana Mirledy et al., 2016)
Diferenciar y gestionar estratégicamente a distintos grupos de empleados	(Rivero & Dabos, 2017)
Minimizar la cantidad de personal que se requieren para cubrir la demanda.	(Ojeda Villagómez, 2012.)
Minimizar tiempo de asignación de personal	(Sepúlveda Gutierrez al., 2013)
Maximizar sumatoria de puntajes de asignación	(Alberto et al., 2014, Gómez et Tello al., 2017)
Minimizar la distancia total recorrida	(David Cortes & Suzuki, 2020)

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Restricciones de asignación y ruteo de personal.

Una restricción es una limitación que tiene una operación debido a un recurso fijo, las restricciones de un problema son un conjunto de relaciones que las variables están obligadas a satisfacer (Torres-Ramos Andrés F., 2015), es decir, son parámetros que se deben satisfacer para poder encontrar el óptimo, en problemas de asignación de personal y el ruteo para proceder con dichas asignaciones, se encuentran las respectivas clasificaciones de las restricciones encontradas en los trabajos previamente estudiados que servirán de base para establecer las relaciones de las variables en el caso estudiado.

En la Tabla 5 se pueden evidenciar un conjunto de restricciones establecidas para este tipo de problemas según la revisión de literatura entre las cuales se puede encontrar que la tarea a realizar debe ser asignada a mínimo un recurso o un grupo de recursos (Çakırgil et al., 2020, Ojeda Villagómez, 2012, Sepúlveda Gutierrez al., 2013), Gómez et Tello al., 2017, Alberto et al., 2014, David Cortes & Suzuki, 2020),

el personal asignado a una tarea debe ser mayor o igual al personal demandado (Ojeda Villagómez, 2012, Alberto et al., 2014, David Cortes & Suzuki, 2020) para poder garantizar el correcto manejo a cada tarea según el personal involucrado, teniendo en cuenta la cantidad de horas asignadas por recurso no debe superar la oferta en un tiempo determinado (Sepúlveda Gutierrez al., 2013, Gómez et Tello al., 2017, Alberto et al., 2014, David Cortes & Suzuki, 2020) para no generar retrasos. Con estos grandes grupos de restricciones se genera una base para el caso de estudio.

Tabla 5 Restricciones de las investigaciones de asignación y ruteo de recurso humano

Restricciones	Artículos
La tarea debe ser asignada a un mínimo a un miembro o a un equipo	(Çakırgil et al., 2020, Ojeda Villagómez, 2012, Sepúlveda Gutierrez al., 2013, Gómez et Tello al., 2017, Alberto et al., 2014, David Cortes & Suzuki, 2020)
El personal asignado debe llegar y/o salir de la ubicación de la tarea asignada	(Çakırgil et al., 2020)
Limitación de número de técnicos a cada tarea según la compatibilidad de habilidades entre los equipos y sus tareas	(Çakırgil et al., 2020)
Tiempo de finalización de las tareas no pueden exceder el tiempo límite	(Çakırgil et al., 2020)
El personal asignado a una tarea debe ser mayor o igual al personal demandado	(Ojeda Villagómez, 2012, Alberto et al., 2014, David Cortes & Suzuki, 2020)
Cantidad de horas asignadas por recurso no debe superar la oferta en un tiempo determinado	(Sepúlveda Gutierrez al., 2013, Gómez et Tello al., 2017, Alberto et al., 2014, David Cortes & Suzuki, 2020)
Limitación de la cantidad de tareas que se le puede asignar a cada recurso.	(Gómez et Tello al., 2017)
Generación de trayectorias radiales (conexiones de depósitos y clientes)	(Eliana Mirledy et al., 2016)
Identificación de nodos creando trayectorias cerradas	(Eliana Mirledy et al., 2016)

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Metodologías de asignación y ruteo de personal.

El problema de la asignación y ruteo de técnicos especializados a diferentes clientes abarca aspectos de programación tanto para la asignación como para la definición de rutas en las visitas que realizan. Como se mencionó anteriormente, se acarrearán problemas de asignación de personal y recurso humano dependiendo sus habilidades y para realizar las tareas y de los diferentes desplazamientos que tiene que realizar el personal encargado para poder llegar al sitio de la tarea y solucionarlo de la manera más eficiente posible.

Dentro de la literatura estudiada, como se puede evidenciar en la Tabla 6, en los trabajos se diseñan modelos principalmente de programación lineal (Ojeda Villagómez, 2012, Sepúlveda Gutierrez al., 2013, Alberto et al., 2014), al igual que modelos de programación entera mixta y entero lineal mixto (Çakırgil et al., 2020, David Cortes & Suzuki, 2020, Eliana Mirledy et al., 2016).

Tabla 6 Metodologías de las investigaciones de asignación y ruteo de recurso humano

Metodología Heurística o exacta	Artículos
Modelo de programación entera mixta	(Çakırgil et al., 2020, David Cortes & Suzuki, 2020)
revisión bibliográfica sobre gestión diferencial de recursos humanos	(Rivero & Dabos, 2017)
Modelo de programación lineal	(Ojeda Villagómez, 2012, Sepúlveda Gutierrez al., 2013, Alberto et al., 2014)
Modelo de programación lineal (Excel y Solver)	(Gómez et Tello al., 2017)
Modelo de programación entero lineal mixto	(Eliana Mirledy et al., 2016)

Fuente: Elaboración propia

Un gran número de soluciones nos proporciona la programación y el modelamiento, donde finalmente queda tomar la mejor decisión dependiendo de las características del caso de estudio y la cantidad de data necesitada para el modelamiento de este.

3.2.4 Características del problema del agente viajero y asignación de recursos.

Un eje importante dentro de la asignación y ruteo es el problema del agente viajero y la asignación de recursos dentro de este, el caso de estudio presenta similitudes en las características respecto al problema mencionado (ver tabla 2), por esto, es de suma importancia tener en cuenta la información pertinente de análisis para poder desarrollar su modelo y la lógica intrínseca en este tipo de problemas.

Anteriormente se analizaron los objetivos, restricciones y metodologías de un conjunto de problemas generales para la asignación y ruteo de recursos, en este caso, se va a entrar a fondo en la problemática descrita en Tecnova, Multi-Traveling Salesman Problem with Time Windows, Multi-Depot and Multi-Period (MTSPTWMDMP).

Dentro de los objetivos mencionados en la tabla 7, se encuentra la minimización de tiempo total de operación, entendida como el tiempo de traslado y de trabajo (Torres-Ramos Andrés F., 2015), la minimización de la distancia recorrida (Moussavi et al., 2019), minimizar la cantidad de tiempo de las tareas y los costos totales de operación Çakırgil et al., 2020; Ome et al., 2020; Zamorano & Stollitz, 2017) y Maximizar la ganancia total recolectada asociada con las tareas y minimizar la distancia total recorrida (Dilson Lucas Pereiraa, 2020).

Tabla 7 Función objetivo de las investigaciones en MTSPTWMDMP

Función objetivo	Artículos
Minimizar el tiempo total de operación	(Torres-Ramos Andrés F., 2015)
Minimizar la máxima distancia recorrida por los empleados	(Moussavi et al., 2019)
Minimizar la cantidad de tiempo de realización de tareas y el total de costos de operación	(Çakırgil et al., 2020; Ome et al., 2020; Zamorano & Stolletz, 2017)
Maximizar la ganancia total recolectada asociada con las tareas y minimizar la distancia total recorrida	(Dilson Lucas Pereiraa, 2020)

Fuente: Elaboración propia

Para las restricciones del problema del caso de estudio, según trabajos relevantes y similares como lo son (Moussavi et al., 2019), (Çakırgil et al., 2020), (Ome et al., 2020), (Zamorano & Stolletz, 2017), (Dilson Lucas Pereiraa, 2020) y (Torres-Ramos Andrés F., 2015) se encuentra que las principales son las mencionadas en la tabla 8.

Tabla 8 Restricciones de las investigaciones en MTSPTWMDMP

Restricciones
1. Carga máxima de trabajo diario
2. Utilización de ventanas de tiempo para la atención a clientes
3. Asegurar el flujo de trabajo y traslado diario

4. Determinación de lugar de salida y llegada
5. Todo cliente debe ser visitado por mínimo una persona de operación
6. Cumplimiento de la demanda
7. Evitar recorridos que no deben hacer y rutas ficticias
8. Evitar sub-ciclos de las rutas
9. Caracterización de las variables

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las metodologías, los autores de los trabajos relacionados anteriormente concuerdan en realizar un modelo matemático de programación lineal entera mixta para la solución del MTSPTWMDMP.

MODELAMIENTO MATEMÁTICO

Este modelo matemático tiene como objetivo la minimización del tiempo total de operación, el cual se compone del tiempo de trabajo más el tiempo de desplazamiento, adicional se considera dentro del estudio del modelo la asignación de los técnicos a cada una de las visitas requeridas por parte del cliente como un problema *de traveling salesman problem* (TSP) pero agregando factores que intervienen en las características del modelo como el *multi-period, multi-depot y time Windows*, generando un modelo *Multi-Traveling Salesman Problem with Time Windows, Multi-Depot and Multi-Period (MTSPTWMDMP)*.

4.2 CONSIDERACIONES DEL MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático que se va a emplear asigna a cada cliente un técnico que realizará una visita un día determinado dependiendo de parámetros y características empleados dentro de la formulación. El horizonte de planificación de períodos múltiples se utiliza cuando los clientes requieren visitas periódicas o cuando la demanda del servicio excede en gran medida la capacidad del servicio durante un período de tiempo (Çakırgil et al., 2020) y para este caso de estudio se realiza para un tiempo superior a un día (una semana de trabajo). El tipo de personal son técnicos sin embargo tienen habilidades diferentes que los caracterizan para realizar diferentes tipos de visita, clasificadas en visitas (comerciales, de mantenimiento prioritario, mantenimiento regular, diagnóstico y mantenimiento, diagnóstico y repuestos), dichos técnicos inician y terminan su día laboral en sus hogares y se movilizan por medio de vehículo propio con tiempos simétricos, identificando el mismo recorrido y el mismo tiempo entre puntos de salida y llegada en cualquier dirección que se tome el desplazamiento.

Adicional las características del cliente son delimitadas por las ventanas de tiempo, representada como el lapso en el que se puede realizar la visita por parte de los técnicos independientemente del tiempo de trabajo y operación que requiera cada tipo de visita.

Para poder realizar la formulación del modelo es necesaria la construcción de parámetros y características propias del problema de asignación y ruteo, dichos parámetros descritos en tablas mencionados en el apartado 4.3 formulación del modelo matemático se muestran en el anexo 1.

4.3 FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

El problema se define mediante un grafo no orientado a $G = (W, A)$, con un conjunto de nodos W el cual representa los nodos de depósitos KT (hogares de técnicos) y

nodos de clientes KC (lugares donde se realizan las visitas) y el conjunto de arcos $A = \{(i, j): i, j \in W, i \neq j\}$.

Cada técnico $t \in T$ es asignado dependiendo de sus habilidades a un tipo de visita $v \in V$ representada en la matriz IN_{tv} y cada cliente $j \in W$ requiere mínimo una visita con un tiempo determinado TS_{ivt} dependiendo el requerimiento del problema representado en la matriz CTV_{iv} en un horizonte semanal de lunes a sábado determinado por $d \in D$.

Se cuenta con un total de 5 técnicos $T = (1, 2, 3, 4, 5)$ en donde el primer técnico hace referencia al gerente comercial de Bogotá, los arcos (i, j) dentro del conjunto $W = (1, \dots, 41)$ en donde los hogares de los técnicos y puntos de partida son los primeros 5 valores correspondientes y los siguientes son los clientes a visitar trazando una matriz de tiempos entre nodos TV_{ij} , por otro lado se consideran 6 tipos de visita $V = (\text{comerciales, mantenimiento prioritario, mantenimiento regular, diagnóstico y mantenimiento, diagnóstico, repuestos})$ cuyo horizonte de trabajo es de 6 días (lunes a sábado), $D = (\text{lunes, \dots, sábado})$. Por otra parte, se establece una franja horaria definida como ventana de tiempo $(IV_{id} \text{ y } FV_{id})$ la cual se debe respetar para cada cliente y se debe realizar la visita dentro de dicha franja.

Los parámetros y variables de decisión usados para modelar el caso de estudio se muestran a continuación.

Parámetros

- TV_{ij} Tiempo de viaje del nodo i al nodo j .
- IN_{tv} Técnico t que atiende el tipo de visita v .
- CTV_{iv} Tipo de visita v que requiere el cliente i .
- TS_{ivt} Tiempo de atención que requiere cada tipo de visita v por parte del técnico t para el cliente i .
- IV_{id} Hora de inicio de la ventana de tiempo del cliente i el día d .

- FV_{id} Hora de finalización de la ventana de tiempo del cliente i el día d .
- P_i Periodo entre visitas de técnicos al cliente i .
- M Número grande.
- HR Horizonte de tiempo.
- $TMAX$ Escalar que representa el tiempo máximo de trabajo diario de un técnico.

Variables

X_{ijtd} Binaria: 1 si el técnico t visita al nodo i y luego al j el día d , 0 de lo contrario.

Y_{itd} Hora de arribo del técnico t al visitar al cliente i el día d .

U_i Variable auxiliar para evitar subtours.

A continuación, se muestra el modelo de programación lineal entera mixta propuesto para solucionar el problema estudiado.

Función objetivo

Minimizar el tiempo total de operación del sistema entendido como la sumatoria del tiempo de desplazamiento + el tiempo de visita.

$$\text{Min } Z = \sum_{t \in T} \sum_{i \in W} \sum_{j \in W} \sum_{v \in V} \sum_{d \in D} X_{ijtd} (TV_{ij} + (TS_{ivt} * IN_{tv})) \quad (1)$$

Restricciones

$$\sum_{j \in W} X_{tj d} * \sum_{v \in V} TS_{ivt} \leq TMAX, \quad \forall i \in W, d \in D, t \in T \quad (2)$$

$$IV_{id} \leq Y_{itd} \leq FV_{id}, \quad \forall t \in T, d \in D, i \in K \quad (3)$$

$$Y_{itd} + \sum_{v \in V} TS_{ivt} + TV_{ij} \leq Y_{itd} + M(1 - X_{ijt d}), \quad \forall i \in W, j \in W, i \neq j, d \in D, t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{j \in KC} X_{ijt d} = \sum_{j \in KC} X_{jit d}, \quad \forall i \in KC, d \in D, t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{j \in W, j=i} X_{tj d} = 0, \quad \forall i \in W, d \in D, t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{i \in KC} X_{tj d} \leq 0, \quad \forall j \in KT, d \in D, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{j \in KC} X_{tj d} \leq 0, \quad \forall i \in KT, d \in D, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{j \in KT, j \neq t} \sum_{t \in T, t \neq j} X_{ijt d} = 0, \quad \forall i \in W, d \in D \quad (9)$$

$$\sum_{j \in W} \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} X_{ijt d} * IN_{tv} \geq CTV_{iv}, \quad \forall i \in KC, v \in V \quad (10)$$

$$\sum_{j \in W} \sum_{t \in T} X_{ijt d} \leq 1, \quad \forall i \in KC, d \in D \quad (11)$$

$$U_i - U_j + (N * X_{ijtd}) \leq N - 1, \quad \forall t \in T, d \in D, i \in KC, j \in KC \quad (12)$$

$$\sum_{j \in W, j \neq i} \sum_{t \in T} \sum_{d=f}^{d+P(i)} X_{ijtd} \leq 1, \quad \forall i \in KC, d \leq HR - P(i) \quad (13)$$

$$X_{ijtd} \in [0,1], \quad \forall i \in W, j \in W, t \in T, d \in D, i \neq j \quad (14)$$

$$Y_{itd} \geq 0, \quad i \in W, d \in D, t \in T \quad (15)$$

$$U_i \geq 0, \quad i \in W \quad (16)$$

El modelo anterior representa la asignación y ruteo de los técnicos de Tecnova a los clientes para realizar las visitas correspondientes, considerando como función objetivo (1) la minimización total del tiempo de operación (tiempo de trabajo + tiempo de desplazamiento). La restricción (2) determina la carga máxima diaria de trabajo, la cuál es de 9 horas. Las restricciones (3) y (4) generan ventanas de tiempo para las visitas a los clientes, dependiendo sus requerimientos. La restricción (5) garantiza el flujo de técnicos en las visitas realizadas. La restricción (6) evita rutas ficticias que se puedan crear. Las restricciones (7) y (8) garantizan que los técnicos salgan y regresen de sus respectivas casas. La restricción (9) garantiza que ningún técnico visitará la casa de otro técnico. La restricción (10) determina el cumplimiento de la demanda de técnicos por parte del cliente. La restricción (11) garantiza que solamente un técnico realizará la visita a cada cliente. La restricción (12) elimina los subtours que pueden crearse por la programación del modelo. La restricción (13) determina el periodo de visitas de los técnicos a los clientes. La restricción (14) define la variable binaria X_{ijtd} . Las restricciones (15) y (16) determinan la no negatividad de las variables positivas Y_{itd} y U_i .

CASO DE ESTUDIO

El modelo presentado en el capítulo 4, pretende ser considerado como una herramienta de toma de decisiones para el gerente comercial de Tecnova al momento de la programación de visitas en el servicio posventa prestado para minimizar el tiempo de operación de este y por ende maximizar la productividad de los técnicos.

Cabe recordar que para la formulación del modelo *Multi-Traveling Salesman Problem with Time Windows, Multi-Depot and Multi-Period (MTSPTWMDMP)*, fue necesario la creación de parámetros y matrices asociadas al problema y su definición. Las tablas correspondientes se pueden observar en el anexo 1.

Para la elaboración y validación del modelo, se utilizó el caso de estudio de Tecnova, en dónde se encuentran 5 técnicos (trabajadores de Tecnova en Bogotá), incluido el gerente comercial de Bogotá, 6 tipos de visita, 36 clientes con sus respectivas localizaciones, en un horizonte de tiempo de 6 días, es decir, una semana laboral de lunes a sábado. Las tablas con la información correspondiente se pueden encontrar a continuación.

Tabla 9 Técnicos de Tecnova

Técnicos	T
t1	Gerente comercial
t2	Técnico 1
t3	Técnico 2
t4	Técnico 3
t5	Técnico 4

Fuente: Elaboración propia

Los técnicos se relacionan con el tipo de visita de acuerdo con sus habilidades, capacidades y conocimientos, cada uno puede realizar ciertos tipos de visitas (tabla 29 del anexo 1).

Tabla 10 Tipos de visitas realizadas por Tecnova

Tipo de visitas	v
v1	Comerciales
v2	Mantenimiento prioritario
v3	Mantenimiento regular
v4	Diagnóstico y mantenimiento
v5	Diagnóstico
v6	Repuestos

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, la empresa proporcionó la información de los tipos de visita que se realizan como servicio posventa durante una semana, entendida de lunes a sábado.

Tabla 11 Días de planeación para el modelo

Días	d
d1	Lunes
d2	Martes
d3	Miércoles
d4	Jueves
d5	Viernes
d6	sábado

Fuente: Elaboración propia

Los clientes de la siguiente tabla fueron proporcionados por el gerente comercial el 15 de febrero del 2021, fueron las visitas realizadas por los técnicos en una semana de trabajo normal meses antes de la pandemia de COVID-19, proporcionando un caso de estudio referente a la problemática analizada.

Tabla 12 Clientes de Tecnova en una semana laboral

Clientes	i-j
c1	ACEBRI
c2	ALMOPLAST LTDA.
c3	APROPLAST S.A.
c4	ARMADURA
c5	ARNESES Y GOMAS S.A.
c6	ASEO LIQUIDOS
c7	B.S INYECTORA DE GANCHOS
c8	BAMBOLOTTO S.A.S.
c9	BIOPLAST SA
c10	COMERCIALIZADORA SANSER
c11	DIMATIC S.A.
c12	DIPLAST S.A.S.
c13	ENVAPAC LTDA.
c14	FAENCOL S.A.S
c15	FRASCOS Y GOTEROS LTDA.
c16	GERFOR
c17	HOGARPLAS / JORGE IVAN PULGARIN MONSALVE
c18	HUMPLAST Y/O JOSE HUMBERTO MUÑOZ MURCIA
c19	ICAFEL
c20	INCADMOL S.A.S.
c21	INDUSTRIAS FULLER - PINTO
c22	INDUSTRIAS GELEYCO S.A.S
c23	INTECPLAST
c24	LAMINADOS DEL CARIBE S.A.S
c25	MEXICHEM
c26	PLASTIPHAR LTDA.
c27	PLASVICOL LTDA.
c28	PROPETCO S.A.S
c29	SILLACOL
c30	SOLPLASTIK
c31	SOPLASCOL
c32	TROFORMAS LTDA.
c33	TUBOPLEX S.A. / TUBOS Y PLASTICOS EXTRUIDOS S.A.
c34	UFFOPLAST
c35	ULTRAPLAS LTDA.
c36	UMIPLAST

Fuente: Elaboración propia

5.1 AMBIENTE COMPUTACIONAL

Para la validación e implementación del modelo, se utilizó el software GAMS Studio win64 25.1.2 en la nube de la Universidad de la Sabana en el área de ingeniería por conexión remota, se ejecutó en un computador Hewlett Packard Intel(R) Core (TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz 1.80GHz con 8 GB de RAM.

5.2 ESTADO ACTUAL

La empresa actualmente no cuenta con una programación de visitas ni asignación de recursos al cliente, trabaja por medio de las decisiones y experiencia del gerente comercial de Bogotá para asignar las rutas correspondientes a los técnicos, no obstante, se realizan 38 visitas en promedio a la semana con un rango entre 24 y 50 visitas (datos entregados por el gerente comercial) y se dejan de realizar entre 6 y 8 visitas semanales, situación que preocupa y complica a la alta gerencia de la empresa en pro de un crecimiento organizacional.

Para la semana escogida con los datos dados por la empresa, la asignación y el ruteo de los técnicos se dio de la siguiente manera:

Tabla 13 Rutas para el primer día semana real

Día 1	
Técnico 1	KT1-C37-C12-C24-KT1
Técnico 3	KT3-C10-C22-KT3
Técnico 4	KT4-C19-C33-KT4

KT1: Casa técnico 1, KT3: Casa técnico 3, C24: Cliente 24...

Tabla 14 Rutas para el segundo día semana real

Día 2	
Técnico 1	KT1-C29-C32-C28-KT1
Técnico 2	KT2-C21-C14-C23-KT2

KT1: Casa técnico 1, KT2: Casa técnico 2, C29: Cliente 29...

Tabla 15 Rutas para el tercer día semana real

Día 3	
Técnico 2	KT2-C17-C8-KT2
Técnico 3	KT3-C20-C27-KT3
Técnico 5	KT5-C30-C38-KT5

KT1: Casa técnico 1, KT3: Casa técnico 3, C17: Cliente 17...

Tabla 16 Rutas para el cuarto semana real

Día 4	
Técnico 1	KT1-C31-C41-KT1
Técnico 2	KT2-C25-C34-KT2
Técnico 4	KT4-C7-C15-C40-KT4

KT2: Casa técnico 2, KT4: Casa técnico, C6: Cliente 6...

Tabla 17 Rutas para el quinto semana real

Día 5	
Técnico 2	KT2-C11-C6-KT2
Técnico 3	KT3-C16-C18-KT3
Técnico 4	KT4-C9-C26-KT4

KT2: Casa técnico 2, KT4: Casa técnico 4, C26: Cliente 26...

Tabla 18 Rutas para el sexto día semana real

Día 6	
Técnico 1	KT2-C13-C35-KT2
Técnico 5	KT3-C36-C39-KT3

KT1: Casa técnico 1, KT5: Casa técnico 5, C13: Cliente 13...

Las rutas presentadas en las tablas anteriores hacen referencia a las rutas hechas por los técnicos para la semana escogida, en dónde se realizó la asignación de todos los clientes a medida que la semana iba avanzando, no obstante, no se realizaron 4 visitas en esa semana, el técnico 1 no visitó al cliente 28 y al 41, el técnico 2 no visitó al cliente 14, el técnico 4 no visitó al cliente 9 y el técnico 3 no visitó al cliente 18, es decir, que hubo un 11% de visitas no realizadas durante la semana, sin contar que la asignación se realiza por experiencia del gerente comercial y disponibilidad del técnico y cliente.

Tabla 19 Porcentaje de participación por técnico

Técnico	Porcentaje de ocupación
T1	29%
T2	22%
T3	15%
T4	15%
T5	10%

Fuente: Elaboración propia

Este porcentaje de ocupación se realiza con un total de 36 visitas sin contar las visitas que no se realizaron mencionadas anteriormente, con esto los técnicos 1 y 2 son los que más visitas realizan, sin embargo, solamente se realizó una visita por cliente y no se tomaron en cuenta factores importantes que dentro del modelo son parámetros fundamentales como el tiempo de desplazamiento, si el cliente requiere una nueva visita, al momento de asignar las ventanas de tiempo para la atención de

los técnicos, etc. A continuación, se muestra la tabla del porcentaje de ocupación de los técnicos contando las visitas que no realizaron.

Tabla 20 Porcentaje de participación por técnico con las visitas sin realizar

Técnico	Porcentaje de ocupación
T1	23%
T2	20%
T3	12%
T4	12%
T5	12%

Fuente: Elaboración propia

5.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del modelo están dados en una serie de 15 rutas dentro de un total de 6 días (de lunes a sábado) para 5 técnicos en total. Las tablas de las rutas mencionadas se presentan a continuación.

Tabla 21 Rutas para el primer día del modelo

Día 1	
Técnico 1	KT1-C32-C41-C28-C11-C17-C35-KT1
Técnico 3	KT3-C29-C16-KT3

KT1: Casa técnico 1, KT2: Casa técnico 2, C41: Cliente 41...

Tabla 22 Rutas para el segundo día del modelo

Día 2	
Técnico 1	KT1-C13-C37-C6-KT1
Técnico 2	KT2-C10-C7-KT2
Técnico 3	KT3-C39-C30-C22-KT3

KT1: Casa técnico 1, KT2: Casa técnico 2, C39: Cliente 39...

Tabla 23 Rutas para el tercer día del modelo

Día 3	
Técnico 1	KT1-C19-KT1
Técnico 3	KT3-C9-C25-KT3

KT1: Casa técnico 1, KT3: Casa técnico 3, C19: Cliente 19...

Tabla 24 Rutas para el cuarto día del modelo

Día 4	
Técnico 2	KT2-C12-C40-C34-KT2
Técnico 3	KT3-C31-C33-C14-KT3

KT2: Casa técnico 2, KT3: Casa técnico 3, C33: Cliente 33...

Tabla 25 Rutas para el quinto día del modelo

Día 5	
Técnico 2	KT2-C23-C15-C36-C38-KT2
Técnico 3	KT3-C32-C21-C18-C8-C17-KT3
Técnico 4	KT4-C27-KT4
Técnico 5	KT5-C20-KT5

KT2: Casa técnico 2, KT4: Casa técnico 4, C23: Cliente 23...

Tabla 26 Rutas para el sexto día del modelo

Día 6	
Técnico 2	KT2-C24-KT2
Técnico 3	KT3-C26-C11-C13-C34-KT3

KT3: Casa técnico 3, KT2: Casa técnico 2, C24: Cliente 24...

Nota: Dentro del modelo para mayor facilidad se realizó una matriz que combinaba la casa de los técnicos con los nodos de los clientes, es decir, que para el modelo el c1 es la casa del técnico 1 y el c6 es el nodo del primer cliente. La información acerca de esta matriz se encuentra en la tabla 33 en el anexo 1.

Por ejemplo, en la tabla 26 se puede observar 2 rutas diferentes de los técnicos 2 y 3, en donde el técnico 3 sale de su casa, se dirige al cliente 26 realiza la visita correspondiente y al finalizar se dirige donde el cliente 11, realizando la visita y cuando termina, se dirige hacia el cliente 13, luego al 34 y puede regresar a su casa.

El tiempo total de operación que arrojó GAMS para el modelo en cuestión fue de 10.425 minutos en promedio, es decir, 173.75 horas a la semana (función objetivo). Distribuyendo dicho tiempo entre los técnicos asociados en la programación.

Los porcentajes de ocupación de cada técnico se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 27 Porcentaje de participación por técnico

Técnico	Porcentaje de participación
T1	24%
T2	24%
T3	46%
T4	2%
T5	2%

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, como se ve en las tablas anteriores que muestran los resultados del modelo, los técnicos 4 y 5 tienen poca participación en las visitas a realizar, con solamente una ruta cada uno, es decir un 2%, en los días de horizonte de planeación. Dentro del modelo los tiempos entre los nodos de las casas de los técnicos y clientes, se tomó como tiempos promedio, pero, como es sabido, la programación se realiza dentro de la ciudad de Bogotá, en donde los tiempos de desplazamiento varían dependiendo el tráfico, por esto mismo, se quiso realizar un experimento agregando un nuevo factor al modelo (TTRA), el cual, para el modelo original si valor es uno y para la experimentación se puso un valor de TTRA=1.3. lo anterior para generar que los tiempos de viajes sean afectados por un factor de “movilidad” y la ocupación de los técnicos cambie. El experimento arrojó los siguientes resultados:

Tabla 28 Rutas para el primer día del modelo con factor TTRA

Día 1	
Técnico 1	KT1-C29-C32-C28-KT1
Técnico 2	KT2-C21-C14-C40-C23-C38-KT2
Técnico 5	KT5-C18-C9-C31-KT5

KT1: Casa técnico 1, KT2: Casa técnico 2, C29: Cliente 29...

Tabla 29 Rutas para el segundo día del modelo con factor TTRA

Día 2	
Técnico 1	KT1-C37-C12-KT1
Técnico 2	KT2-C16-C10-C22-KT2
Técnico 3	KT3-C24-KT3
Técnico 5	KT5-C25-KT5

KT1: Casa técnico 1, KT2: Casa técnico 2, C37: Cliente 37...

Tabla 30 Rutas para el tercer día del modelo con factor TTRA

Día 3	
Técnico 1	KT1-C6-KT1
Técnico 2	KT2-C33-C26-C8-KT2
Técnico 3	KT3-C29-KT3
Técnico 4	KT4-C27-KT4
Técnico 5	KT5-C30-C38-C36-KT5

KT1: Casa técnico 1, KT2: Casa técnico 2, C6: Cliente 6...

Tabla 31 Rutas para el cuarto día del modelo con factor TTRA

Día 4	
Técnico 5	KT5-C31-C13-C20-KT5

KT5: Casa técnico 5, C20: Cliente 20...

Tabla 32 Rutas para el quinto día del modelo con factor TTRA

Día 5	
Técnico 1	KT1-C29-C41-KT1
Técnico 2	KT2-C23-C15-KT2
Técnico 4	KT4-C16-C12-C21-C18-C10-KT4
Técnico 5	KT5-C37-C33-C22-KT5

KT1: Casa técnico 1, KT2: Casa técnico 2, C15: Cliente 15...

Tabla 33 Rutas para el sexto día del modelo con factor TTRA

Día 6	
Técnico 1	KT1-C19-KT1
Técnico 3	KT3-C7-C14-C35-C17-KT3
Técnico 4	KT4-C6-C39-C34-C11-KT4

KT1: Casa técnico 1, KT4: Casa técnico 4, C7: Cliente 7...

El tiempo total de operación en este modelo fue de 10.878 minutos, lo que equivale a 181.3 horas, con una diferencia de 453 minutos de más que el modelo original,

tiempo que varía por el factor de movilidad que claramente iba a aumentar el tiempo total de la operación de viaje y por lo tanto del modelo. Lo importante de este experimento es que ahora se cuentan con 20 rutas en los 6 días de planeación utilizando los 5 técnicos, cuyo porcentaje de participación se muestra a continuación:

Tabla 34 Porcentaje de participación por técnico con factor TTRA

Técnico	Porcentaje de ocupación
T1	18%
T2	25%
T3	12%
T4	20%
T5	25%

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de participación del técnico 4 y técnico 5 aumentó considerablemente (18% y 23% respectivamente) y el del técnico 3 disminuyó, ya que estaba realizando casi un 50% del trabajo en visitas. Este escenario se acerca mucho más a la realidad en cuestión del caso de estudio, ya que los tiempos de desplazamiento quedan acuerdo a la situación de la ciudad de Bogotá al igual que la participación de los técnicos que se encuentran laborando dentro de Tecnova.

Es importante recalcar que todos los clientes dentro del marco del modelo son visitados por lo menos una vez, cumpliendo así la expectativa que tiene Tecnova con su calidad de servicio postventa, en la actualidad, muchos clientes no son visitados en la hora y día acordados y pueden pasar varios periodos de tiempo sin que se reasigne la visita pendiente, generando dificultades para la empresa.

El modelo minimiza el tiempo de operación de las visitas, tiempo comprendido como el tiempo de viaje + el tiempo de trabajo, con la definición de un objetivo claro de

mejorar la productividad de los técnicos, la participación y el porcentaje de ocupación de cada uno y el tiempo total de operación en la semana analizada, el gerente comercial puede tomar entrar a tomar decisiones para la asignación y el trabajo que pueden realizar durante el tiempo ocioso que tiene cada técnico, generando un margen de diferentes opciones para la alta gerencia de la compañía.

Actualmente dentro de la empresa no se cuenta con un sistema para contar o comparar el tiempo de operación en el servicio posventa en diferentes periodos de tiempo, por esto mismo, el modelo arroja el menor tiempo posible de operación dependiendo los valores en los parámetros de construcción, sin embargo, se puede evidenciar que todos los técnicos son asignados a diferentes visitas y cumplen ciertas rutas dentro del tiempo establecido diario de trabajo y no hay clientes que no sean atendidos, cubriendo un 100% de la demanda cada semana, cabe resaltar que el modelo puede ser modificado para cambiar variables y parámetros ajustando tiempos, servicios, horarios, carga laboral, número de técnicos, número de clientes, etc. para diferentes estudios y escenarios.

Comparando respecto a la situación inicial, los clientes son visitados en su totalidad, tomando en cuenta todos los parámetros dentro del modelo, asignando el personal indicado para cada visita, aumentando la cantidad de visitas ya que hay clientes que son visitados más de una vez gracias a la optimización de las rutas, generando un porcentaje de participación y ocupación igual o mayor en cada técnico, teniendo en cuenta, que la cantidad de visitas son mayores dentro del resultado del modelo y las visitas sin realizar son de 0%.

5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Debido a la naturaleza del problema y del modelo, siendo éste una programación entera mixta, el análisis de sensibilidad se realizó por medio de la modificación de

parámetros y en la modificación del otro lado de la igualdad de diferentes ecuaciones dentro de las restricciones.

Se realizaron los siguientes cambios y análisis:

- En la restricción (11) $\sum_{j \in W} \sum_{t \in T} X_{ijtd} \leq 1, \quad \forall i \in KC, d \in D$, la igualdad se cambió por mayor o igual, es decir que pueda haber más de un técnico por visita, sin embargo, el modelo no generó resultado alguno.
- La restricción de demanda (10) $\sum_{j \in W} \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} X_{ijtd} * IN_{tv} \geq CTV_{iv}, \quad \forall i \in KC, v \in V$, se cambió el lado derecho de la igualdad por un 1, para decir que únicamente puede ser de un valor determinante 1, cambiando el parámetro de la demanda (CTV_{iv}), sin embargo, como resultado de dicho cambio, todas las variables daban 0.
- Se cambió el parámetro de IN_{tv} , es decir, la relación de tipo de visita con técnicos por la siguiente tabla:

Tabla 35 Parámetro IN_{tv} : Relación de tipo de visita con técnicos

IN_{tv}	Tipo visita					
Tipo personal	1	2	3	4	5	6
GC	1	0	0	0	0	0
T1	1	1	0	0	0	1
T2	0	0	0	1	1	1
T3	0	0	1	1	1	0
T4	0	0	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Con ese cambio dentro del modelo, se generaron las siguientes rutas como resultado:

Tabla 36 Rutas para el primer día del modelo con cambio en INtv

Día 1	
Técnico 1	KT1-C19-KT1
Técnico 2	KT2-C7-C10-KT2
Técnico 3	KT3-C24-KT3
Técnico 4	KT4-C9-C6-C39-C11-KT4
Técnico 5	KT5-C18-C26-C33-C8-C3-KT5

KT1: Casa técnico 1, KT3: Casa técnico 3, C24: Cliente 24...

Tabla 37 Rutas para el segundo día del modelo con cambio en INtv

Día 2	
Técnico 1	KT1-C15-C40-KT1

KT1: Casa técnico 1, C15: Cliente 15...

Tabla 38 Rutas para el tercer día del modelo con cambio en INtv

Día 3	
Técnico 2	KT2-C21-C12-C33-C29-C41-C6-C17-KT2
Técnico 5	KT5-C25-C8-C22-KT5

KT2: Casa técnico 2, KT5: Casa técnico 5, C25: Cliente 25...

Tabla 39 Rutas para el cuarto día del modelo con cambio en INtv

Día 4	
Técnico 1	KT1-C37-KT1
Técnico 2	KT2-C32-C28-KT2
Técnico 3	KT3-C16-C15-KT3
Técnico 4	KT4-C30-C40-C14-KT4
Técnico 5	KT5-C31-C7-C27-KT5

KT2: Casa técnico 2, KT4: Casa técnico, C16: Cliente 16...

Tabla 40 Rutas para el quinto día del modelo con cambio en INtv

Día 5	
Técnico 2	KT2-C34-C23-C22-KT2
Técnico 5	KT5-C21-C41-C20-KT5

KT2: Casa técnico 2, KT5: Casa técnico 5, C20: Cliente 20...

Tabla 41 Rutas para el sexto día del modelo con cambio en INtv

Día 6	
Técnico 5	KT5-C36-C13-C8-C38-KT5

KT5: Casa técnico 5, C8: Cliente 8...

Dadas las rutas establecidas y las visitas por cada técnico, se muestra a continuación el porcentaje de ocupación y participación por técnico.

Tabla 42 Porcentaje de participación por técnico con cambio en INtv

Técnico	Porcentaje de participación
T1	11%
T2	34%
T3	7%
T4	17%
T5	44%

Fuente: Elaboración propia

Se puede evidenciar que con el cambio realizado el técnico 2 y 5 son los que más visitas realizan y por el contrario el técnico 3 solamente tiene un 7% de participación, caso contrario al inicial debido a que, según el nuevo parámetro establecido, estos técnicos tienen mayores asignaciones según el tipo de visita.

- Por último, se aumentaron los tiempos de trabajos en las visitas en 30 minutos para el tipo de visita 1,2,3 y 6, y el tiempo de visita 4 se aumentó en 15 minutos, los resultados del modelo generaron las siguientes rutas:

Tabla 43 Rutas para el primer día con cambio en tiempos de visita

Día 1	
Técnico 2	KT2-C33-C26-C32-C28-KT1
Técnico 3	KT3-C29-KT3
Técnico 4	KT4-C27-KT3

KT1: Casa técnico 1, KT3: Casa técnico 3, C24: Cliente 24...

Tabla 44 Rutas para el segundo día con cambio en tiempos de visita

Día 2	
Técnico 1	KT1-C36-C40-C23-KT1
Técnico 2	KT2-C16-KT2
Técnico 3	KT3-C20-C31-KT3
Técnico 5	KT5-C21-C12-C13-KT5

KT1: Casa técnico 1, KT2: Casa técnico 2, C29: Cliente 29...

Tabla 45 Rutas para el tercer día con cambio en tiempos de visita

Día 3	
Técnico 1	KT1-C29-C37-C41-C6--KT1
Técnico 3	KT3-C14-KT3
Técnico 5	KT5-C18-C33-C35-KT5

KT1: Casa técnico 1, KT3: Casa técnico 3, C17: Cliente 17...

Tabla 46 Rutas para el cuarto día con cambio en tiempos de visita

Día 4	
Técnico 1	KT1-C36-C15-C7-C27-C8-C17-KT1

Técnico 4 KT4-C23-C30-C34-C11--KT4

Técnico 5 KT5-C25-KT5

KT2: Casa técnico 2, KT4: Casa técnico, C6: Cliente 6...

Tabla 47 Rutas para el quinto día con cambio en tiempos de visita

Día 5	
Técnico 2	KT2-C22-KT2
Técnico 3	KT3-C24-KT3
Técnico 4	KT4-C9-C26-KT4

KT2: Casa técnico 2, KT4: Casa técnico 4, C23: Cliente 23...

Tabla 48 Rutas para el sexto día con cambio en tiempos de visita

Día 6	
Técnico 1	KT1-C19-KT1
Técnico 2	KT2-C12-C36-C38-KT2
Técnico 3	KT3-C39-C6-C10-C9--KT3

KT2: Casa técnico 2, KT4: Casa técnico 4, C23: Cliente 23...

Con las rutas anteriormente mostradas, se encontró el porcentaje de ocupación de cada técnico con el cambio del tiempo en las visitas mostrado a continuación:

Tabla 49 Porcentaje de participación por técnico con cambio en tiempo de visita

Técnico	Porcentaje de participación
T1	40%
T2	22%
T3	22%
T4	17%
T5	17%

Fuente: Elaboración propia

Aumentando el tiempo de atención en las visitas por parte de los técnicos, la diferencia de la ocupación y participación del técnico 1 con el resto de los técnicos es bastante grande, cuya cantidad de visitas a realizar es mucho mayor, no obstante, los técnicos 2, 3, 4 y 5 tienen un porcentaje de participación similar.

CONCLUSIONES

Día a día, el nivel competitivo de las organizaciones aumenta generando la necesidad de transformar y crear nuevas estrategias que permitan estar a la vanguardia independientemente del sector perteneciente del caso de estudio. Los modelos matemáticos nos sirven para poder tomar decisiones acertadas y asertivas que permitan mejorar un proceso y/o actividad establecida, teniendo como base características y parámetros con respecto a la función objetivo que se requiera.

El tipo de modelo matemático que se debe utilizar depende de las características y parámetros que el problema demande, en este caso de estudio se utilizó un modelo combinando Multi-Traveling Salesman Problem with Time Windows, Multi-Depot and Multi-Period (MTSPTWMDMP), integrando modelos de traveling salesman problem (TSP), vehicle routing problem (VRP) con sus respectivas ramas como lo son multi depósito, multi periodo y problemas con ventanas de tiempo.

Un cambio pequeño en el valor de un parámetro en el modelo refleja grandes cambios en los resultados como se muestra comparando los dos escenarios, en dónde solamente se multiplica el tiempo de viaje por un factor de 1.3, lo que genera que se aumenten 5 rutas dentro del tiempo horizonte y la participación de los técnicos se iguale.

Se puede evidenciar que, si el tiempo de viaje aumenta, como sucede en el segundo escenario, el porcentaje de participación de los técnicos que realizaban pocas

visitas en el escenario 1 (tiempo de viaje ideal) aumenta, es decir, que el número de rutas es mayor para dichos técnicos y su productividad incrementa.

Actualmente en la empresa, los técnicos 4 y 5 tienen un menor porcentaje de participación en las visitas debido a su experiencia y habilidades (ver tabla 27 anexo 1) que los otros técnicos y el gerente comercial, la empresa no lo tiene cuantificado, pero les dan prioridad a los primeros 3 técnicos, que es lo que sucede en el escenario 1, sin embargo, con un porcentaje de participación mayor que el del 2% mostrado por el modelo en el primer escenario.

Con el modelo realizado se asegura totalmente que todos los clientes sean visitados y sus requerimientos sean atendidos dentro de los parámetros establecidos, mejorando notablemente la condición inicial y actual de la empresa, de igual manera, el porcentaje de ocupación y participación en las visitas de los técnicos aumenta con la correcta programación de asignación y ruteo.

RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS

A partir de las investigaciones y discusiones presentadas en este proyecto de grado, las perspectivas van encaminadas a la consideración de un modelo con parámetros cuyos índices sean de mayor cantidad y estén involucrados nuevos factores de personal humano, tiempos de trabajo y desplazamiento, tiempos de ocio y ocupación, y las restricciones viales y laborales que se pueden presentar en un caso de estudio con una compañía más desarrollada por medio de diferentes aplicaciones de heurística.

Es importante analizar si dentro de los casos de estudio que se pueda implementar el modelo los servicios, enfoque y escenarios cambian; el modelo puede adecuarse para realizar visitas médicas domiciliarias, para la asignación de recursos en procesos industriales, prestación de servicios de asesoría, cumplimiento de

demanda de abogados con sus clientes y demás situaciones que involucren capital humano y desplazamientos obligatorios.

Se recomienda implementar el modelo desarrollado como una herramienta en la toma de decisiones, debido a que las condiciones reales pueden ser cambiantes durante los periodos de tiempo futuros. La decisión de asignación y ruteo dentro del modelo es una guía para la alta gerencia de la compañía, de igual manera los tiempos que se toman y el mejoramiento continuo de la productividad de los técnicos.

El modelo tiene una base para problemáticas de asignación y ruteo de personal sin importar cual sea el caso de estudio y el tema para tratar. Los parámetros de modelamiento pueden cambiar dependiendo de la problemática, el número de trabajadores, el número de clientes, los tiempos de operación, de atención y viaje y la organización empresarial, de igual manera, se pueden eliminar restricciones de ventanas de tiempo, cambiar si es multi depósito o el punto de salida y llegada es el mismo, si todos los trabajadores pueden realizar todas las tareas o tienen habilidades diferenciadoras, etc. Dependiendo de las características requeridas por el cliente.

BIBLIOGRAFÍA

- Çakırgil, S., Yücel, E., & Kuyzu, G. (2020). An integrated solution approach for multi-objective, multi-skill workforce scheduling and routing problems. *Computers and Operations Research*, 118.
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104908>
- Calvo, E. R., María, A., & Moreno, C. (2005). *Asignación de personal polivalente , basada en tiempos de rotación del personal a las tareas , buscando la satisfacción prioritaria de las tareas . 1998*, 1–9.
- Castellano, E., Zubizarreta, P.X., Pagalday, G., Uribetxebarria, J., Crespo, A. (2016) Service 4.0: The Reasons and Purposes of Industry 4.0 within the Ambit of After-Sales Maintenance. In, Carnero, M.C. and and González-Prida, V. (2016) Optimum Decision Making in Asset management, IGI-Global 2016.
- David Cortes, J., & Suzuki, Y. (2020). *Vehicle Routing with Shipment Consolidation*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107622>
- Dilson Lucas Pereiraa, J. C. (2020). A Multiperiod Workforce Scheduling and Routing Problem with Dependent Tasks, *Computers and Operations Research*.
- Eliana Mirledy, T.-O., John Fredy, F.-B., & Ramón Alfonso, G.-R. (n.d.). *Mathematical Model for Capacitated Location Routing Problem with Private Fleet and Common Carrier*. 3, 357–369.
<https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.006>
- Española, R. a. (s.f.). *Diccionario de la lengua española*.

Gang Li, F. F. (2014). Make-or-buy service capacity decision in a supply chain providing after-sales service. *European Journal of Operational Research*, Pages 377-388,.

Gaiardelli, P., Sacconi, N., Songini, L., 2007. Performance measurement systems in after- sales service: an integrated framework. *Int. J. Bus. Perform. Manag.* 9 (2), 145.

Heizer J., R. B. (2007). *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones estratégicas*. Pearson Education S.A. ISBN: 978-84-8322-360-4.

Hisashi Kurata, S.-H. N. (2010). After-sales service competition in a supply chain: Optimization of customer satisfaction level or profit or both? *International Journal of Production Economics*, Pages 136-146.

investigación, S. d. (s.f.). *VRP (Vehicle Routing Problem)*. Obtenido de <https://andresjaquep.wordpress.com/vrp-vehicle-routing-problem/>

Moon, C. K. (2002). An efficient genetic algorithm for the traveling salesman problem with precedent constraints. *European Journal of Operational Research*,, 606-617.

Moussavi, S. E., Mahdjoub, M., & Grunder, O. (2019). A matheuristic approach to the integration of worker assignment and vehicle routing problems: Application to home healthcare scheduling. *Expert Systems With Applications*, 125, 317–332. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.02.009>

Olivera, A. (2004). *Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos*.

Ome, J. :, Guastaroba, G., Côté, J.-F., & Coelho, L. C. (2020). *ARTICLE IN PRESS The Multi-Period Workforce Scheduling and Routing Problem R*. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102302>

OPTIMIZACIÓNII. (08 de Febrero de 2016). OPTIMIZACIÓN II. Obtenido de <https://optimizacin2.wordpress.com/2016/02/08/problema-de-asignacion/>

Pillac, V. G. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *225(1)*, 1–11. .

Problema, E. L., Agente, D. E. L., & Determinístico, U. N. A. (2014). *USANDO*

BÚSQUEDA TABÚ THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM : A DETERMINISTIC ALGORITHM. 21(1), 127–144.

Ramos, A., Scuela, E., Écnica, T., Uperior De I Ngeniería, S., De O Rganización, E., & Ndustrial, I. (n.d.). *Modelos matemáticos de optimización Universidad Complutense de Madrid.*

Reyes-Rubiano LorenaS., Q.-A. C.-R. (2014). Modelo Matemático para la Programación de Personal Especializado en Logística Humanitaria- Post-Desastre. *congreso LACCEI 2014.*

Sagarna, I., Uribetxebarria, J., Castellano, E., & Erguido, A. (2016). *After-sales maintenance service strategies optimization. An offshore wind farm case study.* <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.027>

Shokouhyar, S., Shokoohyar, S., & Safari, S. (2020). Research on the influence of after-sales service quality factors on customer satisfaction. *Journal of Retailing and Consumer Services, 56*, 102139. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102139>

Tang, Q., Wilson, G. R., & Perevalov, E. (2008). An approximation manpower planning model for after-sales field service support. *Computers & Operations Research, 35*, 3479–3488. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2007.01.022>

Torres-Ramos Andrés F., Q.-A. C.-R.-L. (2015). Programación y ruteo de cuidados médicos domiciliarios. Revisión bibliográfica. *Ingeniare. Revista de Ingeniería.*

Zamorano, E., & Stolletz, R. (2017). Branch-and-price approaches for the Multiperiod Technician Routing and Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research, 257(1)*, 55–68. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.058>

ANEXO 1. TABLAS E INFORMACIÓN PARA EL MODELAMIENTO

Tabla 50 Calificación de características de técnicos.

Técnico	Experiencia	Nivel de estudio	Comunicación	Conocimiento técnico
GC	5	5	5	5
T1	5	4	4	4
T2	3	3	3	4
T3	2	3	2	4
T4	2	3	3	3

GC: Gerente comercial. Calificación sobre 5

Fuente: Elaboración propia

Nota: Tabla elaborada a partir de entrevista realizada al gerente comercial de Tecnova en Bogotá el 29 de enero de 2021

Tabla 51 Promedio de tiempo en minutos según el tipo de visita.

Tipo de visitas	Tiempos promedio (minutos)
Visitas comerciales	60
Visitas mantenimiento prioritario	90
Visitas mantenimiento regular	60
Visitas de diagnóstico y mantenimiento	90
Visitas de diagnóstico	45
Visitas de repuestos	60

Fuente: Elaboración propia

Nota: Tabla elaborada a partir de entrevista realizada al gerente comercial de Tecnova en Bogotá el 29 de enero de 2021

Tabla 52 Visitas que realiza cada técnico dentro de Tecnova

Visitas	Comerciales	Mantenimiento prioritario	Mantenimiento regular	Diagnóstico y mantenimiento	Diagnóstico	Repuestos
GC	X	X			X	
T1	X	X		X	X	X
T2		X	X	X	X	X
T3			X			X
T4			X			X

Fuente: Elaboración propia

Nota: Tabla elaborada a partir de entrevista realizada al gerente comercial de Tecnova en Bogotá el 15 de febrero de 2021

Tabla 53 Direcciones de clientes de Tecnova visitados en una semana

CLIENTES VISITADOS EN UNA SEMANA	
ACEBRI	Carrera 1 No. 3-52
ALMOPLAST LTDA.	Carrera 99 No. 29 - 77
APROPLAST S.A.	Calle 13 N. 79A-55
ARMADURA	Carrera 37 No. 7-63
ARNESES Y GOMAS S.A.	Carrera 33 No. 10-31
ASEO LIQUIDOS	Calle 44 sur No 19-22
B.S INYECTORA DE GANCHOS	Carrera 27 No.8-18
BAMBOLOTTO S.A.S.	Calle 7 Sur No. 7A-43
BIOPLAST SA	Carrera 92 No. 64C-24
COMERCIALIZADORA SANSER	Calle 19 Sur No. 23-42
DIMATIC S.A.	Carrera 36 No.19A-26
DIPLAST S.A.S.	CR 69 B No. 74 B - 59
ENVAPAC LTDA.	Cra. 43a #21-95, Bogotá
FAENCOL S.A.S	Carrera 135 No. 15 - 13
FRASCOS Y GOTEROS LTDA.	Cra. 22 ##6-85, Bogotá
GERFOR	Cra. 25 #17-67
HOGARPLAS	Carrera 64 A No. 5 A - 53 - Fábrica
HUMPLAST	Cl 37a sur 72L- 81
ICAFEL	Carrera 20 No. 169-58
INCADMOL S.A.S.	CALLE 64 A 105-34
INDUSTRIAS FULLER - PINTO	Calle 12 b No. 68 b - 25
INDUSTRIAS GELEYCO S.A.S	Cl. 22 #102-26, Bogotá
INTECPLAST	Cl. 59 #3-54, Soacha, Cundinamarca

LAMINADOS DEL CARIBE S.A.S	Cl. 27 #19-96, Bogotá
MEXICHEM	Autopista Sur # 71-75: Bogotá
PLASTIPHAR LTDA.	Carrera 35 No. 10 - 78
PLASVICOL LTDA.	Cra. 89a Bis #62-05, Bogotá
PROPETCO S.A.S	Calle 16 No.68D-80
SILLACOL	Cra. 21 #45-28, Bogotá
SOLPLASTIK	Carrera 81B No.9-05
SOPLASCOL	Carrera 54 #37 Sur96, Bogotá
TROFORMAS LTDA.	Calle 19 No. 63 - 75
TUBOPLEX S.A.	CR 69 Bis No. 39 - 05 Sur
UFFOPLAST	CR 5F No. 19 - 16 Sur
ULTRAPLAS LTDA.	Calle 36 A Sur No. 72 L - 22 (Carvajal)
UMIPLAST	Carrera 35 No. 3 C - 56

Fuente: Elaboración propia

Nota: Tabla elaborada a partir de entrevista realizada al gerente comercial de Tecnova en Bogotá el 15 de febrero de 2021

Tabla 54 Parámetro TSivt (relación de tiempo de visita, técnicos y clientes)

TSivt	t1	t2	t3	t4	t5
c1.v1	0	0	0	0	0
c2.v1	0	0	0	0	0
c3.v1	0	0	0	0	0
c4.v1	0	0	0	0	0
c5.v1	0	0	0	0	0
c6.v1	60	60	0	0	0
c7.v1	0	0	0	0	0
c8.v1	0	0	0	0	0
c9.v1	0	0	0	0	0
c10.v1	0	0	0	0	0
c11.v1	0	0	0	0	0
c12.v1	60	60	0	0	0
c13.v1	0	0	0	0	0
c14.v1	0	0	0	0	0
c15.v1	60	60	0	0	0
c16.v1	0	0	0	0	0
c17.v1	0	0	0	0	0
c18.v1	0	0	0	0	0
c19.v1	60	60	0	0	0

c20.v1	0	0	0	0	0
c21.v1	0	0	0	0	0
c22.v1	0	0	0	0	0
c23.v1	60	60	0	0	0
c24.v1	0	0	0	0	0
c25.v1	0	0	0	0	0
c26.v1	0	0	0	0	0
c27.v1	0	0	0	0	0
c28.v1	60	60	0	0	0
c29.v1	0	0	0	0	0
c30.v1	0	0	0	0	0
c31.v1	0	0	0	0	0
c32.v1	60	60	0	0	0
c33.v1	0	0	0	0	0
c34.v1	0	0	0	0	0
c35.v1	0	0	0	0	0
c36.v1	0	0	0	0	0
c37.v1	60	60	0	0	0
c38.v1	0	0	0	0	0
c39.v1	0	0	0	0	0
c40.v1	60	60	0	0	0
c41.v1	0	0	0	0	0
c1.v2	0	0	0	0	0
c2.v2	0	0	0	0	0
c3.v2	0	0	0	0	0
c4.v2	0	0	0	0	0
c5.v2	0	0	0	0	0
c6.v2	0	0	0	0	0
c7.v2	90	90	90	0	0
c8.v2	0	0	0	0	0
c9.v2	0	0	0	0	0
c10.v2	90	90	90	0	0
c11.v2	0	0	0	0	0
c12.v2	0	0	0	0	0
c13.v2	0	0	0	0	0
c14.v2	0	0	0	0	0
c15.v2	0	0	0	0	0
c16.v2	0	0	0	0	0
c17.v2	90	90	90	0	0
c18.v2	0	0	0	0	0
c19.v2	0	0	0	0	0

c20.v2	0	0	0	0	0
c21.v2	0	0	0	0	0
c22.v2	90	90	90	0	0
c23.v2	0	0	0	0	0
c24.v2	0	0	0	0	0
c25.v2	0	0	0	0	0
c26.v2	0	0	0	0	0
c27.v2	0	0	0	0	0
c28.v2	0	0	0	0	0
c29.v2	0	0	0	0	0
c30.v2	0	0	0	0	0
c31.v2	0	0	0	0	0
c32.v2	0	0	0	0	0
c33.v2	0	0	0	0	0
c34.v2	0	0	0	0	0
c35.v2	0	0	0	0	0
c36.v2	0	0	0	0	0
c37.v2	0	0	0	0	0
c38.v2	0	0	0	0	0
c39.v2	0	0	0	0	0
c40.v2	0	0	0	0	0
c41.v2	90	90	90	0	0
c1.v3	0	0	0	0	0
c2.v3	0	0	0	0	0
c3.v3	0	0	0	0	0
c4.v3	0	0	0	0	0
c5.v3	0	0	0	0	0
c6.v3	0	0	0	0	0
c7.v3	0	0	0	0	0
c8.v3	0	0	0	0	0
c9.v3	0	0	60	60	60
c10.v3	0	0	0	0	0
c11.v3	0	0	60	60	60
c12.v3	0	0	0	0	0
c13.v3	0	0	60	60	60
c14.v3	0	0	60	60	60
c15.v3	0	0	0	0	0
c16.v3	0	0	0	0	0
c17.v3	0	0	0	0	0
c18.v3	0	0	60	60	60
c19.v3	0	0	0	0	0

c20.v3	0	0	60	60	60
c21.v3	0	0	60	60	60
c22.v3	0	0	0	0	0
c23.v3	0	0	0	0	0
c24.v3	0	0	0	0	0
c25.v3	0	0	60	60	60
c26.v3	0	0	0	0	0
c27.v3	0	0	60	60	60
c28.v3	0	0	0	0	0
c29.v3	0	0	0	0	0
c30.v3	0	0	60	60	60
c31.v3	0	0	60	60	60
c32.v3	0	0	0	0	0
c33.v3	0	0	60	60	60
c34.v3	0	0	0	0	0
c35.v3	0	0	60	60	60
c36.v3	0	0	0	0	0
c37.v3	0	0	0	0	0
c38.v3	0	0	60	60	60
c39.v3	0	0	0	0	0
c40.v3	0	0	0	0	0
c41.v3	0	0	0	0	0
c1.v4	0	0	0	0	0
c2.v4	0	0	0	0	0
c3.v4	0	0	0	0	0
c4.v4	0	0	0	0	0
c5.v4	0	0	0	0	0
c6.v4	0	0	0	0	0
c7.v4	0	0	0	0	0
c8.v4	0	0	0	0	0
c9.v4	0	0	0	0	0
c10.v4	0	0	0	0	0
c11.v4	0	0	0	0	0
c12.v4	0	0	0	0	0
c13.v4	0	0	0	0	0
c14.v4	0	0	0	0	0
c15.v4	0	0	0	0	0
c16.v4	0	90	90	0	0
c17.v4	0	0	0	0	0
c18.v4	0	0	0	0	0
c19.v4	0	0	0	0	0

c20.v4	0	0	0	0	0
c21.v4	0	0	0	0	0
c22.v4	0	0	0	0	0
c23.v4	0	0	0	0	0
c24.v4	0	90	90	0	0
c25.v4	0	0	0	0	0
c26.v4	0	90	90	0	0
c27.v4	0	0	0	0	0
c28.v4	0	0	0	0	0
c29.v4	0	0	0	0	0
c30.v4	0	0	0	0	0
c31.v4	0	0	0	0	0
c32.v4	0	0	0	0	0
c33.v4	0	0	0	0	0
c34.v4	0	0	0	0	0
c35.v4	0	0	0	0	0
c36.v4	0	0	0	0	0
c37.v4	0	0	0	0	0
c38.v4	0	90	90	0	0
c39.v4	0	0	0	0	0
c40.v4	0	0	0	0	0
c41.v4	0	0	0	0	0
c1.v5	0	0	0	0	0
c2.v5	0	0	0	0	0
c3.v5	0	0	0	0	0
c4.v5	0	0	0	0	0
c5.v5	0	0	0	0	0
c6.v5	0	0	0	0	0
c7.v5	0	0	0	0	0
c8.v5	45	45	45	0	0
c9.v5	0	0	0	0	0
c10.v5	0	0	0	0	0
c11.v5	0	0	0	0	0
c12.v5	0	0	0	0	0
c13.v5	0	0	0	0	0
c14.v5	0	0	0	0	0
c15.v5	0	0	0	0	0
c16.v5	0	0	0	0	0
c17.v5	0	0	0	0	0
c18.v5	0	0	0	0	0
c19.v5	0	0	0	0	0

c20.v5	0	0	0	0	0
c21.v5	0	0	0	0	0
c22.v5	0	0	0	0	0
c23.v5	0	0	0	0	0
c24.v5	0	0	0	0	0
c25.v5	0	0	0	0	0
c26.v5	0	0	0	0	0
c27.v5	0	0	0	0	0
c28.v5	0	0	0	0	0
c29.v5	0	0	0	0	0
c30.v5	0	0	0	0	0
c31.v5	0	0	0	0	0
c32.v5	0	0	0	0	0
c33.v5	0	0	0	0	0
c34.v5	0	0	0	0	0
c35.v5	0	0	0	0	0
c36.v5	0	0	0	0	0
c37.v5	0	0	0	0	0
c38.v5	0	0	0	0	0
c39.v5	0	0	0	0	0
c40.v5	0	0	0	0	0
c41.v5	0	0	0	0	0
c1.v6	0	0	0	0	0
c2.v6	0	0	0	0	0
c3.v6	0	0	0	0	0
c4.v6	0	0	0	0	0
c5.v6	0	0	0	0	0
c6.v6	0	0	0	0	0
c7.v6	0	0	0	0	0
c8.v6	0	0	0	0	0
c9.v6	0	0	0	0	0
c10.v6	0	0	0	0	0
c11.v6	0	0	0	0	0
c12.v6	0	0	0	0	0
c13.v6	0	0	0	0	0
c14.v6	0	0	0	0	0
c15.v6	0	0	0	0	0
c16.v6	0	0	0	0	0
c17.v6	0	0	0	0	0
c18.v6	0	0	0	0	0
c19.v6	0	0	0	0	0

c20.v6	0	0	0	0	0
c21.v6	0	0	0	0	0
c22.v6	0	0	0	0	0
c23.v6	0	0	0	0	0
c24.v6	0	0	0	0	0
c25.v6	0	0	0	0	0
c26.v6	0	0	0	0	0
c27.v6	0	0	0	0	0
c28.v6	0	0	0	0	0
c29.v6	0	60	60	60	60
c30.v6	0	0	0	0	0
c31.v6	0	0	0	0	0
c32.v6	0	0	0	0	0
c33.v6	0	0	0	0	0
c34.v6	0	60	60	60	60
c35.v6	0	0	0	0	0
c36.v6	0	60	60	60	60
c37.v6	0	0	0	0	0
c38.v6	0	0	0	0	0
c38.v6	0	0	0	0	0
c40.v6	0	0	0	0	0
c41.v6	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55 Parámetro P(i) (Periodos entre visitas de técnicos a clientes)

Clientes	Periodos entre visitas de técnicos al cliente i
c1	0
c2	0
c3	0
c4	0
c5	0
c6	1
c7	1
c8	1
c9	1
c10	1
c11	1

c12	1
c13	1
c14	1
c15	1
c16	1
c17	1
c18	1
c19	1
c20	1
c21	1
c22	1
c23	1
c24	1
c25	1
c26	1
c27	1
c28	1
c29	1
c30	1
c31	1
c32	1
c33	1
c34	1
c35	1
c36	1
c37	1
c38	1
c39	1
c40	1
c41	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56 Ventanas de tiempo iniciales (minutos)

Cliente		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
		d1	d2	d3	d4	d5	d6
GC	c1	0	0	0	0	0	0
Técnico 1	c2	0	0	0	0	0	0
Técnico 2	c3	0	0	0	0	0	0
Técnico 3	c4	0	0	0	0	0	0
Técnico 4	c5	0	0	0	0	0	0

ACEBRI	c6	600	600	840	600	600	480
ALMOPLAST LTDA.	c7	540	540	540	540	540	540
APROPLAST S.A.	c8	660	660	660	660	660	660
ARMADURA	c9	480	480	480	480	480	600
ARNESES Y GOMAS S.A.	c10	600	540	540	540	600	540
ASEO LIQUIDOS	c11	840	840	840	840	840	600
B.S INYECTORA DE GANCHOS	c12	480	480	480	480	480	480
BAMBOLOTTO S.A.S.	c13	540	540	540	540	540	600
BIOPLAST SA	c14	480	480	480	480	480	480
COMERCIALIZADORA SANSER	c15	600	480	480	480	480	480
DIMATIC S.A.	c16	540	480	480	480	480	600
DIPLAST S.A.S.	c17	840	840	840	840	840	840
ENVAPAC LTDA.	c18	480	480	480	480	480	600
FAENCOL S.A.S	c19	600	600	600	600	480	480
FRASCOS Y GOTEROS LTDA.	c20	540	540	540	540	540	540
GERFOR	c21	480	480	480	480	480	600
HOGARPLAS	c22	600	540	540	540	600	540
HUMPLAST	c23	480	480	480	480	480	480
ICAFEL	c24	540	540	540	540	600	480
INCADMOL S.A.S.	c25	480	480	480	480	480	600
INDUSTRIAS FULLER - PINTO	c26	480	480	480	480	480	480
INDUSTRIAS GELEYCO S.A.S	c27	600	600	600	600	600	600
INTECPLAST	c28	600	600	600	600	600	600
LAMINADOS DEL CARIBE S.A.S	c29	540	540	540	540	540	540
MEXICHEM	c30	480	600	480	480	480	600
PLASTIPHAR LTDA.	c31	540	540	540	480	540	540
PLASVICOL LTDA.	c32	480	480	480	480	480	480
PROPETCO S.A.S	c33	480	480	480	480	480	480
SILLACOL	c34	540	540	540	540	540	660
SOLPLASTIK	c35	900	900	900	900	900	900
SOPLASCOL	c36	480	480	480	480	480	480
TROFORMAS LTDA.	c37	540	540	540	540	540	540
TUBOPLEX S.A.	c38	540	540	540	540	540	600
UFFOPLAST	c39	600	480	480	480	480	540
ULTRAPLAS LTDA.	c40	480	480	480	480	480	540
UMIPLAST	c41	600	600	600	600	600	600

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57 Ventanas de tiempo finales (minutos)

Cliente		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
		d1	d2	d3	d4	d5	d6
GC	c1	0	0	0	0	0	0
Técnico 1	c2	0	0	0	0	0	0
Técnico 2	c3	0	0	0	0	0	0
Técnico 3	c4	0	0	0	0	0	0
Técnico 4	c5	0	0	0	0	0	0
ACEBRI	c6	720	720	960	720	720	600
ALMOPLAST LTDA.	c7	660	660	660	660	660	660
APROPLAST S.A.	c8	840	840	840	840	840	840
ARMADURA	c9	600	600	600	600	600	720
ARNESES Y GOMAS S.A.	c10	780	720	720	720	780	720
ASEO LIQUIDOS	c11	990	990	990	990	990	750
B.S INYECTORA DE GANCHOS	c12	630	630	630	630	630	630
BAMBOLOTTO S.A.S.	c13	660	660	660	660	660	720
BIOPLAST SA	c14	660	660	660	660	660	660
COMERCIALIZADORA SANSER	c15	720	600	600	600	600	600
DIMATIC S.A.	c16	690	630	630	630	630	750
DIPLAST S.A.S.	c17	1020	1020	1020	1020	1020	1020
ENVAPAC LTDA.	c18	600	600	600	600	600	720
FAENCOL S.A.S	c19	720	720	720	720	600	600
FRASCOS Y GOTEROS LTDA.	c20	660	660	660	660	660	660
GERFOR	c21	600	600	600	600	600	720
HOGARPLAS	c22	780	720	720	720	780	720
HUMPLAST	c23	660	660	660	660	660	660
ICAFEL	c24	660	660	660	660	720	600
INCADMOL S.A.S.	c25	630	630	630	630	630	750
INDUSTRIAS FULLER - PINTO	c26	600	600	600	600	600	600
INDUSTRIAS GELEYCO S.A.S	c27	780	780	780	780	780	780
INTECPLAST	c28	750	750	750	750	750	750
LAMINADOS DEL CARIBE S.A.S	c29	660	660	660	660	660	660
MEXICHEM	c30	600	720	600	600	600	720
PLASTIPHAR LTDA.	c31	660	660	660	600	660	660
PLASVICOL LTDA.	c32	660	660	660	660	660	660
PROPETCO S.A.S	c33	600	600	600	600	600	600

SILLACOL	c34	660	660	660	660	660	780
SOLPLASTIK	c35	1080	1080	1080	1080	1080	1080
SOPLASCOL	c36	630	630	630	630	630	630
TROFORMAS LTDA.	c37	660	660	660	660	660	660
TUBOPLEX S.A.	c38	720	720	720	720	720	780
UFFOPLAST	c39	720	600	600	600	600	660
ULTRAPLAS LTDA.	c40	630	630	630	630	630	690
UMIPLAST	c41	720	720	720	720	720	720

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58 Parámetro INtv: Relación de tipo de visita con técnicos

INtv	Tipo visita					
Tipo personal	1	2	3	4	5	6
GC	1	1	0	0	1	0
T1	1	1	0	1	1	1
T2	0	1	1	1	1	1
T3	0	0	1	0	0	1
T4	0	0	1	0	0	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59 Parámetro CTViv Relación de tipo de visita con clientes

CTViv	Tipo visita					
Clientes	1	2	3	4	5	6
GC	0	0	0	0	0	0
Técnico 1	0	0	0	0	0	0
Técnico 2	0	0	0	0	0	0
Técnico 3	0	0	0	0	0	0
Técnico 4	0	0	0	0	0	0
ACEBRI	1	0	0	0	0	0
ALMOPLAST LTDA.	0	1	0	0	0	0
APROPLAST S.A.	0	0	0	0	1	0
ARMADURA	0	0	1	0	0	0
ARNESES Y GOMAS S.A.	0	1	0	0	0	0
ASEO LIQUIDOS	0	0	1	0	0	0

B.S INYECTORA DE GANCHOS	1	0	0	0	0	0
BAMBOLOTTO S.A.S.	0	0	1	0	0	0
BIOPLAST SA	0	0	1	0	0	0
COMERCIALIZADORA SANSER	1	0	0	0	0	0
DIMATIC S.A.	0	0	0	1	0	0
DIPLAST S.A.S.	0	1	0	0	0	0
ENVAPAC LTDA.	0	0	1	0	0	0
FAENCOL S.A.S	1	0	0	0	0	0
FRASCOS Y GOTEROS LTDA.	0	0	1	0	0	0
GERFOR	0	0	1	0	0	0
HOGARPLAS	0	1	0	0	0	0
HUMPLAST	1	0	0	0	0	0
ICAFEL	0	0	0	1	0	0
INCADMOL S.A.S.	0	0	1	0	0	0
INDUSTRIAS FULLER - PINTO	0	0	0	1	0	0
INDUSTRIAS GELEYCO S.A.S	0	0	1	0	0	0
INTECPLAST	1	0	0	0	0	0
LAMINADOS DEL CARIBE S.A.S	0	0	0	0	0	1
MEXICHEM	0	0	1	0	0	0
PLASTIPHAR LTDA.	0	0	1	0	0	0
PLASVICOL LTDA.	1	0	0	0	0	0
PROPETCO S.A.S	0	0	1	0	0	0
SILLACOL	0	0	0	0	0	1
SOLPLASTIK	0	0	1	0	0	0
SOPLASCOL	0	0	0	0	0	1
TROFORMAS LTDA.	1	0	0	0	0	0
TUBOPLEX S.A.	0	0	0	1	0	0
UFFOPLAST	0	0	1	0	0	0
ULTRAPLAS LTDA.	1	0	0	0	0	0
UMIPLAST	0	1	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60 Matriz de tiempos de desplazamientos entre los nodos (minutos)

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14	c15	c16	c17	c18	c19	c20	c21	c22	c23	c24	c25	c26	c27	c28	c29	c30	c31	c32	c33	c34	c35	c36	c37	c38	c39	c40	c41	
c1	1000	1000	1000	1000	1000	21	25	26	47	44	16	28	8	24	26	15	20	10	8	57	43	45	22	43	38	34	50	23	7	45	55	54	34	55	9	7	21	56	37	55	12	
c2	1000	1000	1000	1000	1000	54	45	25	42	53	37	19	9	45	39	6	30	23	40	34	11	8	52	17	29	42	59	20	37	37	37	53	9	10	40	38	22	14	44	53	56	
c3	1000	1000	1000	1000	1000	56	44	32	12	41	60	34	42	11	48	60	30	59	49	11	39	44	16	8	37	16	21	47	6	40	13	9	59	24	47	23	33	39	22	59	37	
c4	1000	1000	1000	1000	1000	4	53	39	19	12	7	35	53	33	56	9	31	56	57	18	50	21	5	40	36	59	5	57	46	43	25	45	56	41	34	51	29	28	55	21	54	
c5	1000	1000	1000	1000	1000	39	4	34	44	58	39	57	35	42	50	35	57	8	38	9	29	8	7	31	14	48	8	16	14	39	14	55	59	60	19	23	17	55	57	41	31	
c6	21	54	56	4	39	1000	39	34	27	21	26	17	9	31	20	19	30	27	50	12	19	27	35	51	35	36	45	70	13	48	19	67	28	24	41	34	11	35	13	36	13	
c7	25	45	44	53	4	39	1000	15	26	25	43	29	38	17	35	24	27	21	25	30	26	25	26	54	23	16	4	57	25	54	27	42	19	45	18	21	27	25	67	31	28	
c8	26	25	32	39	34	34	15	1000	16	15	30	17	30	20	26	19	19	11	37	18	15	13	24	46	23	4	19	52	17	43	13	53	3	31	18	27	20	21	70	25	19	
c9	47	42	12	19	44	27	26	16	1000	5	23	8	17	27	13	10	24	9	46	8	9	11	20	36	29	17	30	44	14	41	3	56	14	22	27	24	16	21	61	25	16	
c10	44	53	41	12	58	21	25	15	5	1000	24	7	18	27	18	10	22	9	46	9	7	12	21	46	29	16	26	48	12	44	2	57	13	26	25	24	16	21	61	21	14	
c11	16	37	60	7	39	26	43	30	23	24	1000	19	18	37	11	18	31	22	56	18	17	20	19	37	39	27	35	41	22	30	18	49	24	2	30	14	24	17	41	20	24	
c12	28	19	34	35	57	17	29	17	8	7	19	1000	11	25	8	7	19	11	46	5	4	12	19	26	27	16	25	42	11	40	6	46	13	17	24	21	14	19	55	21	12	
c13	8	9	42	53	35	9	38	30	17	18	18	11	1000	32	13	23	40	26	60	14	21	27	29	56	40	39	42	48	22	43	21	49	34	20	43	27	18	28	36	34	19	
c14	24	45	11	33	42	31	17	20	27	27	37	25	32	1000	39	20	17	17	35	34	23	24	25	54	8	16	40	59	21	44	23	45	19	39	20	35	23	28	57	26	23	
c15	26	39	48	56	50	20	35	26	13	18	11	8	13	39	1000	15	34	19	54	11	14	18	16	38	35	30	39	44	19	29	15	40	25	13	31	21	14	14	38	21	25	
c16	15	6	60	9	35	19	24	19	10	10	18	7	23	20	15	1000	21	6	44	13	9	12	19	42	24	17	24	48	9	38	8	38	14	21	20	22	13	21	49	23	12	
c17	20	30	30	31	57	30	27	19	24	22	31	19	40	17	34	21	1000	18	43	27	23	19	27	50	21	18	26	58	20	45	22	47	17	36	26	29	26	27	58	28	25	
c18	10	23	59	56	8	27	21	11	9	9	22	11	26	17	19	6	18	1000	41	17	9	9	17	44	21	15	23	50	10	41	10	41	14	24	21	27	16	20	54	18	15	
c19	8	40	49	57	38	50	25	37	46	46	56	46	60	35	54	44	43	41	1000	47	39	47	61	88	49	45	20	64	41	61	36	60	37	54	29	45	46	38	70	36	45	
c20	57	34	11	18	9	12	30	18	8	9	18	5	14	34	11	13	27	17	47	1000	9	15	22	40	32	25	30	45	13	38	7	48	20	24	28	24	24	24	26	55	23	16
c21	43	11	39	50	29	19	26	15	9	7	17	4	21	23	14	9	23	9	39	9	1000	14	22	38	25	20	25	47	9	40	7	40	16	27	23	30	14	30	58	22	13	
c22	45	8	44	21	8	27	25	13	11	12	20	12	27	24	18	12	19	9	47	15	14	1000	16	46	26	17	24	38	14	34	9	38	12	25	16	17	20	16	48	15	17	
c23	22	52	16	5	7	35	26	24	20	21	19	19	29	25	16	19	27	17	61	22	22	16	1000	62	42	27	39	29	36	24	30	31	34	19	25	16	40	5	36	2	38	
c24	43	17	8	40	31	51	54	46	36	46	37	26	56	54	38	42	50	44	88	40	38	46	62	1000	50	52	56	87	53	83	55	87	103	81	59	63	53	62	92	62	50	
c25	38	29	37	36	14	35	23	23	29	29	39	27	40	8	35	24	21	21	49	32	25	26	42	50	1000	30	26	68	37	65	35	58	31	56	31	50	39	43	72	41	38	
c26	34	42	16	59	48	36	16	4	17	16	27	16	39	16	30	17	18	15	45	25	20	17	27	52	30	1000	17	38	18	34	13	38	5	28	16	19	23	16	48	15	20	
c27	50	59	21	5	8	45	4	19	30	26	35	25	42	40	39	24	26	23	20	30	25	24	39	56	26	17	1000	55	25	50	25	48	53	46	20	35	27	28	60	27	27	
c28	23	20	47	57	16	70	57	52	44	48	41	42	48	59	44	48	58	50	64	45	47	38	29	87	68	38	55	1000	54	9	39	23	14	28	36	37	52	25	45	24	53	
c29	7	37	6	46	14	13	25	17	14	12	22	11	22	21	19	9	20	10	41	13	9	14	36	53	37	18	25	54	1000	43	10	41	17	34	26	30	8	25	53	23	7	
c30	45	37	40	43	39	48	54	43	41	44	30	40	43	44	29	38	45	41	61	38	40	34	24	83	65	34	50	9	43	1000	33	25	40	21	36	29	43	17	38	15	44	
c31	55	37	13	25	14	19	27	13	3	2	18	6	21	23	15	8	22	10	36	7	7	9	30	55	35	13	25	39	10	33	1000	41	15	23	26	21	21	25	49	19	18	
c32	54	53	9	45	55	67	42	53	56	57	49	46	49	45	40	38	47	41	60	48	40	38	31	87	58	38	48	23	41	25	41	1000	47	45	33	47	56	33	61	32	55	
c33	34	9	59	56	59	28	19	3	14	13	24	13	34	19	25	14	17	14	37	20	16	12	34	103	31	5	53	14	17	40	15	47	1000	31	14	27	24	20	50	19	25	
c34	55	10	24	41	60	24	45	31	22	26	2	17	20	39	13	21	36	24	54	24	27	25	19	81	56	28	46	28	34	21	23	45	31	1000	39	26	36	19	37	25	39	
c35	9	40	47	34	19	41	18	18	27	25	30	24	43	20	31	20	26	21	29	28	23	16	25	59	31	16	20	36	26	36	26	33	14	39	1000	25	31	16	47	15	31	
c36	7	38	23	51	23	34	21	27	24	24	14	21	27	35	14	22	29	27	45	24	30	17	16	63	50	19	35	37	30	29	21	47	27	26	25	1000	40	6	34	14	38	
c37	21	22	33	29	17	11	27	20	16	16	24	14	18	23	21	13	26	16	46	24	14	20	40	53	39	23	27	52	8	43	21	56	24	36	31	40	1000	33	64	32	10	
c38	56	14	39	28	55	35	25	21	21	17	19	28	28	14	21	27	20	38	26	30	16	5	62	43	16	28	25	25	17	25	33	20	19	16	6	33	1000	40	6	33		
c39	37	44	22	55	57	13	67	70	61	61	41	55	36	57	38	49	58	54	70	55	58	48	36	92	72	48	60	45	53	38	49	61	50	37	47	34	64	40	1000	45	60	
c40	55	53	59	21	41	36	31	25	25	21	20	21	34	26	21	23	28	18	36	23	22	15	2	62	41	15	27	24	23	15	19	32	19	25	15	14	32	6	45	1000	35	