

# Propuesta de un modelo de optimización de rutas para la entrega de materiales quirúrgicos de la empresa Bioart S.A de la ciudad de Cali, considerando ventanas de tiempo.

## *Resumen*

El transporte es un elemento vital en la planificación y administración de un diseño Integrado de gestión logística, que permite el desplazamiento de materias primas, productos terminados e incluso personas, a través de cadenas de transporte diseñadas para cumplir despachos en tiempo y forma, al menor coste posible, tanto a nivel local, como regional, nacional o internacional. Se puede evidenciar entonces que en el ámbito de competencia que caracteriza al siglo XXI, la logística industrial es usada por las compañías con el fin de generar ventajas competitivas. Dentro de este contexto es de vital importancia los procesos de aprovisionamiento y/o distribución, por lo que el establecimiento de las rutas óptimas para vehículos ha generado un gran interés investigativo. Como resultado se han propuesto diversos modelos que abarcan este problema con el fin de mejorar el desempeño logístico. El problema VRP es uno de los más comunes en la optimización combinatoria y uno de los más estudiados; plantea la búsqueda de la solución óptima con diferentes restricciones tales como: número de vehículos, su capacidad, lugares de destino (clientes), ventanas de tiempo y demanda de los clientes, entre otras. Una de las variantes del problema es el VRPTW el cual es un problema VRP con la restricción adicional de una ventana de tiempo asociada a cada cliente, definiendo un intervalo dentro del cual el cliente debe ser atendido, donde el intervalo en el depósito es llamado horizonte de programación y cada nodo destino está asociado con un intervalo de tiempo llamado ventana de tiempo. Con base en lo anterior, este trabajo propone un modelo de optimización de rutas considerando ventanas de tiempo para la entrega de materiales quirúrgicos en una empresa de la ciudad de Cali Colombia, que contribuya a minimizar el costo total asociado al proceso de distribución.

*Palabras clave: Optimización de rutas; VRPTW; Costos de distribución; Optimización combinatoria.*

## I. INTRODUCCIÓN.

El transporte cada vez toma mayor importancia en el mundo de la logística, hace parte fundamental en el despacho de materiales; El tiempo, el destino, la carga son factores que se tienen en cuenta para llegar a un cliente final. Son puntos claves para cumplir con indicadores y tener un cliente satisfecho (González, 2016).

La ortopedia es una especialidad que ha crecido con el tiempo, día a día se realiza un alto volumen de cirugías de

urgencia y programadas en diferentes instituciones de salud, en las que se involucran variedad de equipos, materiales e insumos (Cano, 2014).

Bioart S.A es una empresa dedicada a la comercialización de material de osteosíntesis, maneja cinco líneas de negocio como columna, artroscopia, reemplazos articulares, trauma y su reciente unidad de extremidades que comenzó a partir del año 2017, la cual involucra materiales relacionados a la solución de patologías adquiridas.

Una de las principales funciones de la empresa es cumplir con el despacho del material solicitado por cada una de las entidades, lo cual día a día se convierte en una situación difícil de cumplir debido al alto volumen de cirugías, tanto de urgencia como programadas, además de la ubicación de la compañía, donde su oficina y centro de despachos radica en el sur de la ciudad de Cali y su mayor porcentaje de clientes se encuentran en el norte, lo que toma más tiempo en el proceso de entregas; por lo tanto se es difícil realizar una buena planeación que se adecue a las necesidades de todos.

Para Bioart lo más importante son sus clientes ya que es una empresa en crecimiento, en la búsqueda constante de la fidelización de cada uno de ellos; por esto es de vital importancia que todos los materiales sean de calidad y que como empresa logística de salud todo el proceso de despacho se realice de la manera más rápida posible para cumplir no solo con horarios ya establecidos sino también como manera de demostrar la capacidad de respuesta que se tiene ante las diferentes solicitudes de urgencia de cada una de las entidades.

El proceso comienza una vez cada entidad de salud realiza una solicitud de material de cirugía ortopédica de una de las líneas de negocio que maneja la empresa vía email; esto previamente por una planeación quirúrgica y evaluación médica realizada por el cirujano.

Teniendo en cuenta esta solicitud se procede a dar disponibilidad de material, verificando factores como el inventario y equipos existentes en bodega; si es así se realiza el proceso de alistamiento de kits del procedimiento, remisión y despacho.

Diariamente se encuentran problemas ya que este proceso no es tan fácil, por lo que no se cuenta con el suficiente material, lo que lleva a demoras en alistamiento y posteriores permisos en cada institución para entregas a horas no establecidas; Tener en cuenta factores como el tráfico y la distancia son indispensables al momento de realizar planeación de ruta; además de esto la empresa cuenta con un total de cinco mensajeros los cuales tres de ellos se movilizan en moto propia y los dos restantes en una van N300 que pertenecen a la compañía.

Es importante tener en cuenta que la empresa realiza un promedio entre 20 y 25 cirugías diarias en diferentes instituciones de la ciudad de Cali y sus alrededores, tales como Popayán, Tuluá, Buga, Palmira y Buenaventura.

Se considera necesario incluir dentro de su planeación un modelo que permita optimizar las rutas a realizar por cada mensajero que de acuerdo a su capacidad se obtengan beneficios de entregas en cuanto a los horarios establecidos por cada institución y con esto llegar a mejorar el nivel de servicio ofrecido por parte de la empresa, teniendo como consecuencia un mejoramiento de los indicadores logísticos, tiempos, quejas y finalmente buena imagen para la compañía. A continuación se relaciona un análisis de las quejas recibidas por diferentes instituciones.

CONTROL DE QUEJAS Y RECLAMOS												
CIUDAD:		CALI										
CONSECUTIVO	DIA	MES	AÑO	NO CONFORMIDAD	QUEJA O RECLAMO	NOMBRE CLIENTE	QUIEN SE QUEJA	RECIBIDA POR	PROCESO AFECTADO	TIEMPO	INCOMPLETO	CALIDAD
CA-055	1	3	18	0	1	COMFANDI PALMIRA	JOSE VALENCIA GARCIA	YENNI GOMEZ	COMERCIAL	1	0	0
CA-056	20	3	18	0	1	COMFANDI	DR LOZANO	YENNI GOMEZ	LOGISTICA	1	0	0
CA-058	11	4	18	0	1	CLINICA AMIGA	JEFE NAZLY BENITES	YENNI GOMEZ	LOGISTICA	1	0	0
CA-062	25	4	18	0	1	CLINICA COMFANDI	JEFE JOSE VALENCIA	YENNI GOMEZ	LOGISTICA	1	0	0
CA-066	25	7	18	1	0	CLINICA REMEDIOS	Jefe Marcela Cobo	YENNI GOMEZ	LOGISTICA	1	0	0
CA-068	1	8	18	1	0	CLINICA AMIGA	DIANA COLINA	YENNI GOMEZ	LOGISTICA	1	0	0
CA-069	7	8	18	1	0	CLINICA REMEDIOS	COROLINA OLIVAR	YENNI GOMEZ	LOGISTICA	1	0	0
CA-071	29	8	18	1	0	DUMIAN	DR GAMBIA	CAROLINA OLIVAR	LOGISTICA	1	0	0

Figura 1. Control de quejas  
Fuente: Los autores

QUEJAS		
TIPO	CANTIDAD	%
ATENCION-SERVICIO.	21	44%
INCOMPLETO.	15	31%
TARDE	9	19%
CALIDAD.	1	2%
LIMPIEZA.	1	2%
CAPACITACION.	1	2%
RESPECTO-CONVIVENCIA	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>48</b>	

Tabla 1. Registro de quejas  
Fuente: Los autores



Figura 2. Análisis histórico de quejas y reclamos  
Fuente: Los autores



Figura 3. Reporte de quejas y reclamos año 2018  
Fuente: Los autores

Actualmente en un porcentaje del 19%, el cual es alto en niveles de servicio, se evidencia las fallas que se tienen en las entregas de los materiales a las instituciones por realizarlas en horarios por fuera de lo permitido.

Es importante identificar estos horarios, establecer el modelo matemático que ayude a mejorar los tiempos y como consecuencia mejorar el servicio.

## II. METODOLOGÍA

La metodología a emplear está estructurada en tres fases:

### Fase 1. Diagnóstico del Sistema Actual de Distribución.

Se realiza una guía de observación donde se relacionan y evalúan aspectos importantes en cada uno de los procesos internos logísticos para el despacho de materiales.

Se lleva a cabo una investigación donde se establece con las entidades que más realizan solicitudes de material, horarios de entrega y recibo de materiales; se tiene en cuenta días

críticos en los que el volumen de cirugía crece considerablemente independiente de la línea de negocio. Es importante tener en cuenta disponibilidad de materiales diarios y horarios de personal tanto de auxiliares como de mensajeros (Ver Tablas 2 y 3).

		HORARIOS DE RECIBO Y ENTREGA DE MATERIALES		
No	INSTITUCION	DIRECCIÓN	HORA RECIBO	HORA ENTREGA
1	CUNICA NUESTRA SEÑORA DE LOS REMEDIOS	Avenida 2 Norte # 24-157 San Vicente	7am-5pm	7am-5pm
2	CUNICA VERSALLES	Av. 5a Nte. #23N-46/57, Cali, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
3	CENTRO DE FRACTURAS Y LESIONES DEPORTIVAS	Calle 44 Norte, 3H-20, Cali, Valle del Cauca	7am-12pm	7am-12pm
4	CENTRO DE ORTOPEDIA Y FRACTURAS	Av 2N #21N-45 y 65 San Vicente	7am-11am	7am-11am
5	CUNICA DE OCCIDENTE	Calle 18 Norte #5 N34, Versalles, Cali	7am-8pm	7am-8pm
6	CUNICA PALMIRA	Cra. 21 #31-62, Palmira, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
7	CUNICA DE FRACTURAS PALMIRA	Cl. 46 #28 - 07, Palmira, Valle del Cauca	7am-3pm	7am-3pm
8	CUNICA COMFANDI PALMIRA	Calle 32 # 21-74, Palmira, Valle.	7am-4pm	7am-4pm
9	CENTRO MEDICO IMBANACO	Carrera 38 A No. 5A - 100, Cali, Colombia	8am-4pm	8am-4pm
10	CUNICA REV DAVID	Cra. 24 #7-00, Cali, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
11	CUNICA SAN FERNANDO	Cl. 5 #38-48, Cali, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
12	HOSPITAL UNIVERSITARIO DEL VALLE	Cl. 5 #36-08, Cali, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
13	CENTRO DERMATOLOGICO DE CALI	Cl 5B3 38-44, Cali, Valle	8am-5pm	1-5pm
14	CUNICA NUESTRA	Calle 10 No 33-51 Barrio Colseguros, Cali, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
15	CUNICA AMIGA	Carrera 70 #18-75, Limonar, Cali, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
16	FUNDACION VALLE DEL LILI	Carrera 98 # 18-49, Cali, Valle del Cauca	8-4pm	2-4pm
17	CUNICA LA ESTANCIA POPAYAN	Cl 15N 2-350 Popayan Cauca	7am-5pm	7am-5pm
18	CUNICA SANTA GRACIA POPAYAN	Calle 14N # 15N-46 Popayan, Cauca	7am-5pm	7am-5pm
19	HOSPITAL SAN JOSE DE POPAYAN	Cra. 6 #10N-142, Popayán, Cauca	7am-5pm	7am-5pm
20	HOSPITAL SUSANA LOPEZ DE VALENCIA POPAYAN	CALLE 15 No 17A - 196, Popayan, Cauca	7am-5pm	7am-5pm
21	HOSPITAL SAN JOSE BUGA	Cra. 8 #1752, Guadalajara de Buga, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
22	CUNICA REDESIMAT BUGA	Carrera 14 #1- 83, Buga, Valle del Cau	7-12pm	7-4pm
23	CUNICA SAN FRANCISCO TULUA	Cl. 26 #34-60, Tulua, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
24	CUNICA MARIA ANGEL TULUA	#- a 40-146., Cl. 25 #402, Tulua, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm
25	CUNICA SANTA SOFIA BUENAVENTURA	Cra. 47 #42, Buenaventura, Valle del Cauca	7am-5pm	7am-5pm

Tabla 2. Horarios de recibo y entrega de materiales por cliente.  
Fuente: Los autores.

		GUIA DE OBSERVACIÓN		
ASPECTOS A EVALUAR	SI	NO	OBSERVACIONES	
1	x		programacion descargada de la ERP que utiliza la empresa.	
2		x	Se desconoce horarios por institucion.	
3		x		
4	x			
5	x			
6		x	No se verifican a tiempo los faltantes, llevando a demoras y despachos incompletos.	
7	x			
8	x			
9	x			
10		x		
11		x		

Tabla 3. Guía de Observación.  
Fuente: Los autores

## Fase 2. Formulación modelo matemático

### Conjuntos Principales

set NODOS  
set ORIG within NODOS  
set CLIE within NODOS  
set VEHICULOS

### Parámetros

param  $c\{i \text{ in NODOS}, j \text{ in NODOS}\} \geq 0$   
Costo del Recorrido entre Nodos

param  $d\{i \text{ in CLIE}\} \geq 0$   
Demanda asociada a cada Nodo i

param  $cap \geq 0$   
Capacidad del Vehículo k

param  $s\{i \text{ in CLIE}\} \geq 0$   
Tiempo de servicio del nodo i

param  $t\{i \text{ in NODOS}, j \text{ in NODOS}\} \geq 0$   
Tiempo de Viaje entre Nodos.

param  $a\{i \text{ in NODOS}\} \geq 0$   
Salida más temprana posible del Nodo i.

param  $b\{i \text{ in NODOS}\} \geq 0$   
Llegada más temprana posible del Nodo i.

param  $M \geq 0$   
Valor Elevado para cota superior en algunas Restricciones.

### Variables de decisión

var  $X\{i \text{ in NODOS}, j \text{ in NODOS}, k \text{ in VEHICULOS}; i < j\}$  binary  
1, si se recorre del Nodo i al Nodo j en el Vehículo k.

var  $Y\{i \text{ in NODOS}, k \text{ in VEHICULOS}\} \geq 0$   
Cantidad de Producto del Vehículo k al salir del Nodo J.

var  $Z\{i \text{ in NODOS}, k \text{ in VEHICULOS}\} \geq 0$   
Comienzo del Servicio en el Nodo i con el Vehículo k.

### Función objetivo

minimize Costos\_de\_Ruta:  
 $\sum\{i \text{ in NODOS}, j \text{ in NODOS}, k \text{ in VEHICULOS}; i < j\}$   
 $(c[i,j]*X[i,j,k])$   
(1)

## Restricciones

Para todo Nodo distinto al Origen, el Número de Arcos debe ser igual a 1.

$$\text{subject to restriccion\_1 } \{i \text{ in CLIE}\}: \\ \text{sum}\{j \text{ in NODOS}, k \text{ in VEHICULOS}:j <> i\} (X[i,j,k]) = 1 \quad (2)$$

El Número de Arcos que llegan a un Nodo debe ser igual al Número de Arcos que salen.

$$\text{subject to restriccion\_2 } \{i \text{ in NODOS}, k \text{ in VEHICULOS}\}: \\ \text{sum}\{j \text{ in NODOS}:i <> j\} (X[i,j,k]) - \text{sum}\{j \text{ in NODOS}:i <> j\} (X[j,i,k]) \\ = 0 \quad (3)$$

Para el Nodo Origen sólo puede salir un Arco hacia el Nodo Destino.

$$\text{subject to restriccion\_3 } \{i \text{ in ORIG}, k \text{ in VEHICULOS}\}: \\ \text{sum}\{j \text{ in CLIE}\} (X[i,j,k]) \leq 1 \quad (4)$$

Para todo Nodo diferente del Nodo Origen, debe existir un Arco que entre a éste Nodo.

$$\text{subject to restriccion\_4 } \{j \text{ in CLIE}\}: \\ \text{sum}\{i \text{ in NODOS}, k \text{ in VEHICULOS}:i <> j\} (X[i,j,k]) = 1 \quad (5)$$

Tiempos de Servicio.

$$\text{subject to restriccion\_5 } \{i \text{ in CLIE}, j \text{ in CLIE}, k \text{ in VEHICULOS}:i <> j\}: \\ Z[i,k] + s[i] + t[i,j] - Z[j,k] \leq M*(1 - X[i,j,k]) \quad (6)$$

Garantiza que el Tiempo de Servicio del Nodo i, se encuentre dentro de la Ventana de Tiempo.

$$\text{subject to restriccion\_6 } \{i \text{ in CLIE}, k \text{ in VEHICULOS}\}: \\ a[i]*(\text{sum}\{j \text{ in NODOS}:i <> j\}(X[i,j,k])) \leq Z[i,k] \quad (7)$$

Garantiza que el Tiempo de Servicio del Nodo i, se encuentre dentro de la Ventana de Tiempo.

$$\text{subject to restriccion\_7 } \{i \text{ in CLIE}, k \text{ in VEHICULOS}\}: \\ Z[i,k] \leq b[i]*(\text{sum}\{j \text{ in NODOS}:i <> j\}(X[i,j,k])) \quad (8)$$

Restricción de la Carga Transporta por el Vehículo K.

$$\text{subject to restriccion\_8 } \{i \text{ in NODOS}, j \text{ in CLIE}, k \text{ in VEHICULOS}:i <> j\}: \\ Y[i,k] + d[j] - Y[j,k] \leq M*(1 - X[i,j,k]) \quad (9)$$

Restricción de Capacidad del Vehículo K.

$$\text{subject to restriccion\_9 } \{i \text{ in CLIE}, k \text{ in VEHICULOS}\}: \\ d[i]*(\text{sum}\{j \text{ in NODOS}:i <> j\}(X[i,j,k])) \leq Y[i,k] \quad (10)$$

Restricción de Capacidad del Vehículo K.

$$\text{subject to restriccion\_10 } \{i \text{ in CLIE}, k \text{ in VEHICULOS}\}: \\ Y[i,k] \leq \text{cap}*(\text{sum}\{j \text{ in NODOS}:i <> j\}(X[i,j,k])) \quad (11)$$

## Resultados

RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j =

X :=  
 0 1 1 1.0  
 1 8 1 1.0  
 2 5 1 1.0  
 3 6 1 1.0  
 4 2 1 1.0  
 5 3 1 1.0  
 6 0 1 1.0  
 7 9 1 1.0  
 8 10 1 1.0  
 9 11 1 1.0  
 10 7 1 1.0  
 11 4 1 1.0

VEHICULOS EN EL CUAL TRANSPORTAR =

Y :=  
 1 1 8.0  
 2 1 688.0  
 3 1 716.0  
 4 1 671.0  
 5 1 703.0  
 6 1 725.0  
 7 1 48.0  
 8 1 36.0  
 9 1 108.0  
 10 1 41.0  
 11 1 628.0

COMIENZO DEL SERVICIO =

Z :=  
 1 1 420.0  
 2 1 767.2  
 3 1 938.5  
 4 1 686.8  
 5 1 798.5  
 6 1 960.0  
 7 1 497.8  
 8 1 443.6  
 9 1 508.1  
 10 1 473.9  
 11 1 587.3

## Fase 3. Análisis de Resultados

El modelo matemático CVRPTW fue formulado a través del uso del lenguaje de programación AMPL y el solver Gurobi de NEOS Server for Optimization © generando un total de 310 variables las cuales 264 son binarias y 46 son continuas. De igual forma se generaron un total de 598 restricciones.

Además se generó un costo total mínimo de ruta de \$1,745,365.4 considerando el día más crítico de distribución.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se abordó el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, donde se consideraron restricciones de demanda, capacidad de los vehículos y tiempo de recibo de cada cliente. De acuerdo a los antecedentes encontrados en la revisión de la literatura, El Problema de Ruteo de Vehículos (Por sus siglas en inglés VRP) es uno de los principales temas de la Investigación de Operaciones y es catalogado como un problema complejo de optimización combinatorial.

Para dar solución al problema de asignación de rutas de la empresa caso de estudio, en primera instancia se realizó el diagnóstico del sistema actual de distribución, caracterizando la ubicación de los clientes con los que cuenta la empresa, la distancia entre ellos, los tipos de vehículos con los que realizan las rutas, las demandas asociadas a cada cliente, los tiempos de recibo y los costos totales de los recorridos, esto con el fin de comprender la problemática a la cual se está enfrentando la empresa.

Una vez comprendido el funcionamiento del sistema de distribución de la empresa caso de estudio, se formula un Modelo Matemático que contribuya a minimizar los Costos Totales de la Ruta, cumpliendo con los horarios de recibo establecidos por los clientes.

Se recomienda en Investigaciones Futuras, aplicar estrategias de solución alternativas como Heurísticas y Metaheurísticas, que aunque no garanticen los óptimos, ayudan a mejorar el desempeño del modelo en cuanto a la eficiencia de los tiempos computacionales, cuando se enfrenten problemáticas de mayor dimensión.

De igual manera, contemplar dentro de la definición del Modelo Matemático, Ventanas de Tiempo Duras, Flota de Vehículos Heterogénea, Múltiples Depósitos y Tiempos de Demora por Tráfico y Tiempos de espera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gonzalez, N. (2016). Transporte y Logística. Transporte y territorio.
- Jorge Hernan Restrepo, P. D. (2008). Un problema logístico de programación de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW). Scientia et Technica.
- Juan Manuel Izar Landeta, C. B. (2018). Análisis y optimización de dos sistemas de espera de empresas de logística y transporte de los estados de Querétaro y Colima. Mexico: Instituto Politécnico Nacional.
- Patricia Cano Olivios, F. O. (2014). Modelo de gestión logística para pequeñas y medianas empresas en Mexico,. Puebla, Mexico.
- Rodrigo Andrés Gómez Montoya, A. A. (2015). Transporte verde: eficiencia y reducción de Co2, integrando gestión, tecnologías de información y comunicaciones (TIC) y metaheurístico,. P+L.
- Tania Idalí Bailón García, R. R. (2015). Factores logísticos que inciden en el aumento de la competitividad de las pymes. En Tania Idalí Bailón García.
- Hirohito kuse, A. E. 2010, logistics facility, road network and district planning: establishing comprehensive planning for city logistics.
- Thorsten Blecker, W.C, 2014, innovative methods in logistics.
- Izar- landeta juan Manuel, C. Y 2016, estudio comparativo del impacto de la media y varianza del tiempo de entrega y de la demanda en el costo del inventario.
- Martín Darío Arango serna, S.L.J, 2016, indicadores de desempeño para empresas del sector logístico: un enfoque desde el transporte de carga terrestre.
- Mejía Arguetaa Christopher, I.O, (2016), planeación por escenarios: un caso de estudio en una empresa de consultoría logística en colombia.
- Gómez Montoya, Rodrigo Andrés (2015), Transporte verde: eficiencia y reducción de co2 integrando gestión, tecnologías de información y comunicaciones (tic) y un metaheurístico.