

**Algoritmo del agente viajero para minimizar el recorrido de visitas programadas en una empresa de seguros.**

**Algorithm of the travel agent to minimize the travel of scheduled visits in an insurance company.**

**Algoritmo de viajantes para minimizar a rota do agente visitas agendadas numa empresa de seguros.**

**Alex Javier Quiñones Reyes<sup>1</sup>, Lily Margot Villar Tiravanti<sup>2</sup>, Jaime Eduardo Gutiérrez Ascón<sup>3</sup>.**

---

**Resumen**

La planificación de las visitas, en la empresa aseguradora, no contaba con un modelo de red que optimizara la ruta que conectaba el domicilio de los clientes para cumplir con todas las visitas programadas. Esta investigación determinó el modelo de redes, mediante el algoritmo de agente viajero, que minimizó el recorrido de las visitas programadas. El estudio tuvo diseño de investigación pre experimental. De una población de 200 clientes afiliados, se tomó una muestra de 23 clientes. Se identificó la demanda, se elaboró la distribución de flujo y se aplicó un modelo matemático en programación lineal. Con el análisis ABC se identificaron a los 23 clientes o nodos, se elaboró una distribución de flujo en un mapeo con tres rutas reales, una red potencial con dos clústeres y se aplicó el modelo matemático agente viajero. Los softwares utilizados fueron WinQSB, XIStat, Excel, IBM SPSS v20. El recorrido total de la red potencial inicial era de 90 570 m, el modelo obtenido redujo el recorrido a 32 569 m; con ello se minimizó el 64% del total de la distancia; para el clúster uno, de 18 370 m, el recorrido se redujo a 13 930,26 m (24%); para el clúster dos, de 77 300 m, el recorrido se redujo a 28 459,04 m (63%). Las mejoras contribuyeron directamente a reducir el tiempo del recorrido de las rutas, lo que benefició aperturas de mayor cobertura, menores costos de operación y mayor efectividad en los procesos de visitas a los clientes.

*Palabras clave:* Demanda, distribución de flujo, modelo de redes, ruta, tiempo de recorrido.

**Abstract**

The planning of the visits, the insurance company, did not count with a network model that optimized the route that connected the address of the clients to fulfill all the scheduled visits. This research determined the network model, through the algorithm of traveler agent that minimized the route of the scheduled visits. The study was descriptive with a pre-experimental research design. Of a population of 200 affiliated clients, a sample of 23 clients was taken. The demand was identified, the flow distribution was elaborated and a mathematical model was applied in linear programming. With the ABC analysis, the 23 clients or nodes were identified, a flow distribution was elaborated in a mapping with three real routes, a potential network with two clusters and the mathematical model traveling agent was applied. The software used was WinQSB, XIStat, Excel, IBM SPSS v20. The total route of the initial potential network was 90 570 m, the model obtained reduced the route to 32 569 m; with this, 64% of the total distance was minimized; for cluster one, of 18 370 m, the route was reduced to 13 930,26 m (24%); for cluster two, 77 300 m, the route was reduced to 28 459.04 m (63%). The improvements directly contributed to reduce the time of the route of the routes, which benefited openings of greater coverage, lower costs of operation and greater effectiveness in the processes of visits to the clients.

*Keywords:* Demand, flow distribution, model of networks, route, time of travel.

**Resumo**

O planejamento de visitas, a companhia de seguros, não tem um modelo de rede que otimiza a rota ligando a

---

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Industrial. Bachiller. Universidad César Vallejo. Chimbote. Perú. [jqfinancial@gmail.com](mailto:jqfinancial@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0001-6644-471X>.

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería Industrial. Bachiller. Universidad César Vallejo. Chimbote. Perú. [Lily.villar@gmail.com](mailto:Lily.villar@gmail.com).

<sup>3</sup> Escuela de Ingeniería Industrial. Bachiller. Universidad César Vallejo. Chimbote. Perú. [ing\\_jagu@hotmail.com](mailto:ing_jagu@hotmail.com). <http://orcid.org/0000-0003-4065-3359>.

casa de clientes para atender todas as visitas programadas. Esta pesquisa determinou o modelo de rede, através do algoritmo do agente de viagem, que minimizou a rota das visitas agendadas. O estudo foi descritivo com um projeto de pesquisa pré-experimental. De uma população de 200 clientes afiliados, uma amostra de 23 clientes foi realizada. A demanda foi identificada, a distribuição do fluxo foi elaborada e um modelo matemático foi aplicado na programação linear. Com a análise ABC identificou os 23 clientes ou nós, distribuição de fluxo foi desenvolvido no mapeamento reais três rotas, uma rede em potencial com dois clusters e o modelo matemático foi aplicado caixeiro viajante. O software utilizado foi WinQSB, XIStat, Excel, IBM SPSS v20. A rota total da rede potencial inicial foi de 90 570 m, o modelo obtido reduziu a rota para 32 569 m; com isso, foram minimizados 64% da distância total; Para o cluster um, de 18 370 m, a rota foi reduzida para 13 930,26 m (24%); Para o cluster dois, 77 300 m, a rota foi reduzida para 28 459,04 m (63%). Melhorias contribuiu diretamente para a redução rotas de tempo de viagem, beneficiando aberturas de maior cobertura, menores custos operacionais e visitas mais eficazes processos de clientes.

**Palavras chave:** Demanda, distribuição de fluxo, modelo de redes, rota, tempo de viagem.

## Introducción

Actualmente, se observa en el entorno global que las empresas dedicadas al servicio o a la manufactura siempre presentan problemas con el inadecuado manejo de los recursos, por ello es importante conocer las herramientas necesarias para realizar un mejor control y seguimiento sobre el conjunto de actividades que realiza la empresa.

La empresa aseguradora, objeto de estudio, presentaba falta de planificación de rutas y en la práctica no lograba los resultados esperados, entre otros problemas asociados como que no se organizaba a la gente de manera apropiada, no se cumplía con las visitas a los clientes en una sola ruta, por lo contrario, se extendían los tiempos al ampliarse los recorridos. Es decir, el no contar con un plan de ruta definido, los agentes y los supervisores tenían muy pocas oportunidades de lograr sus metas o de saber cuándo y dónde se están desviando de su camino. En definitiva, la falta de planificación de rutas desgastaba los recursos de los agentes de seguros sin lograr el objetivo de visitar a todos los clientes dentro de una red de visitas programadas.

Hay situaciones que se pueden representar mediante el modelo de nodos o redes para ser resuelto; asegurando la consecución, uno tras otro, regresando al punto de origen sin hacer visitas por segunda vez al mismo cliente. El modelo se constituye, por tanto, en una necesidad para buscar la solución a una ruta compleja. Las redes se determinan también por los tamaños y estos podrían ser una red finita y una red infinita; para ambos tipos de redes se aplica un modelo que conecta a todos los nodos asociándose a un tipo de flujo; como el flujo de tráfico de automóviles; agentes de seguros visitando clientes; el flujo de productos petroleros. Es importante considerar que el flujo se limita por la cantidad de arcos en la red; para la red de visitas de los agentes de seguros tiene que ser dirigidas para obtener un flujo positivo en la misma dirección. Los nodos o clientes al estar enlazados con arcos o ramas definen la ruta del modelo, por otro lado, de manera distinta si estuvieran pasando por otro nodo que tiene que ser visitado, esto independientemente del flujo de cada arco, se reconecta y se enlaza a los nodos al menos por esta ruta; de esta manera se direcciona a todos los clientes con los agentes de seguro, en una visita tras otra, identificando la ruta óptima, minimizando el recorrido esperado (Taha, 2012, p. 209-210).

Forman parte de la demanda los usuarios o clientes potenciales de seguros que precisan cubrir un riesgo, estando con la capacidad de pagar la prima que le corresponde; como en otras industrias el asegurador debe prepararse para enfrentar a las nuevas y constantes exigencias de la demanda del mercado ajustando los servicios de ventas a los riesgos.

La distribución de flujo en la industria de los seguros se detalla en actividades que permiten el traslado de los agentes de seguros desde las oficinas principales, donde inicia el proceso, hasta la visita al cliente y/o asegurado de manera satisfactoria. Para el modelo de redes con algoritmo del agente viajero, la distribución de flujo es la representación del diseño de una ruta para cada agente de seguros, y de esta manera, realizar el recorrido de las visitas y llegar a los clientes de manera efectiva.

Según Riveros (2015) la aplicación de la investigación de operaciones al problema de la distribución a una empresa logística mejoró la distribución. Ocaña (2012), diseñó el modelo matemático para resolver los problemas de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo, con la aplicación del algoritmo de Clark & Wright, obtuvo un ahorro del 23% en el tiempo total del recorrido. García (2010) desarrolló una metodología para la determinación de caminos mínimos en redes de tránsito y en tiempo real utilizando técnicas de aprendizaje computacional que resultaron prometedores, aunque se evidenció que puede tener un mejor comportamiento en redes más grandes, ya sea de ciudades de mayor tamaño o en redes densas de carreteras, donde se podrían hacer predicciones en tiempos mayores. Arias (2010) para la aplicación del modelo de optimización en la planeación de rutas de buses escolares logró diseñar una propuesta de planeación de rutas a través del desarrollo de un modelo de optimización, que permitió reducir los costos involucrados y mejorar la eficiencia del proceso. Ramírez (2014) quien usó la dinámica de sistemas para optimizar las rutas de recojo de residuos sólidos trabajó con software lingo como herramienta de fácil uso e interpretación para optimizar las rutas de recojo de residuos sólidos. El estudio de Carbonel (2015) que propuso un modelo matemático de planificación de rutas para minimizar los costos de reparto logró planificar las rutas de reparto de carga a través de un modelo matemático. El autor concluyó que no existe un único criterio para elegir un modelo de rutas, esto depende de la realidad específica y de la habilidad del investigador para abstraer de la realidad de las variables y restricciones que verdaderamente afectan a la gestión de la distribución estudiada. Según Lozada (2015) encontró soluciones al problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) mediante métodos heurísticos utilizando el software de Matlab. Concluyendo que la solución al problema de ruteo de vehículo con ventanas de tiempo se cumplió en su totalidad y que la herramienta desarrollada arrojó resultados factibles que daban solución al problema. El estudio de Rojas (2014) optimizó la política de despacho de una compañía farmacéutica, desde el centro de distribución hacia locales de región metropolitana, de acuerdo a variables y restricciones del negocio, minimizando los costos variables de transporte incurridos, manteniendo al menos el nivel de servicio actual. Esta investigación concluyó que con la implementación de la heurística de ahorro de Clarke and Wright (1 enfoque), se ha logrado disminuir en 68 la cantidad de viajes mensuales que debe realizar la flota para abastecer región metropolitana.

El modelo matemático del problema del Agente Viajero (TSP), debe dar la solución para lograr minimizar el recorrido de visitas programadas, el propósito principal es identificar la forma de desarrollar una gira total para conectar a todos los nodos visitando una única vez cada nodo y de minimizar la distancia en el recorrido de la vuelta, en general, el modelo logra un resultado óptimo en la red de visitas programadas.

Un modelo TSP es descrito mediante el número de ciudades  $n$  y la matriz de distancias  $\|d_{ij}\|$ . Por consiguiente, la definición de un recorrido prohíbe siempre conectar una ciudad a sí misma al asignar una penalización muy alta a los elementos diagonales de la matriz de distancias. El modelo del agente viajero es simétrico si  $d_{ij} = d_{ji}$  para todas las  $i$  y  $j$ . De lo contrario, el modelo TSP es asimétrico.

Una red está compuesta por un conjunto de nodos unidos por arcos (o ramas). La notación para describir una red es  $(N, A)$ , donde  $N$  es el conjunto de nodos, y  $A$  es el conjunto de todos arcos. Relacionado con cada red hay un flujo (por ejemplo, los productos de petróleo fluyen por un oleoducto y el tráfico de automóviles fluye por las carreteras), el flujo máximo en una red puede ser finito o infinito, de acuerdo a la capacidad de sus arcos. Se dice que un arco está dirigido u orientado si acepta el flujo positivo sólo en una dirección. Una red dirigida tiene el integro de los arcos dirigidos. Una ruta es un conjunto de arcos que unen dos nodos distintos, estos pasan a través de otros nodos en la red (Taha, 2012, pp. 209-210)

Para facilitar la llegada con la programación diaria de visitas a los clientes de la empresa aseguradora, de muchas situaciones identificamos algunas que pueden representar un modelo para ser resuelto bajo el esquema de nodos (clientes) uno tras otro y volver al punto de origen sin hacer visita por segunda vez al mismo cliente, el modelo se constituye bajo una necesidad de buscar una solución a una ruta compleja al no tener identificado el mejor recorrido. Las redes se enmarcan también en los tamaños y estos podrían ser una red finita y una red infinita para ambos tipos de

redes y para cada uno se aplica un modelo que conecte a todos los nodos asociándose a un tipo de flujo; como flujo de tráfico de automóviles; agentes de seguros visitando clientes; flujos de productos petroleros, es importantes considerar que el flujo se limita por la cantidad de arcos en la red para la red de visitas de los agentes de seguros tiene que ser dirigidas para obtener un flujo positivo para la misma dirección. Los nodos o clientes al estar enlazados con arcos o ramas dentro del modelo definen la ruta estos serían distintos ya que estarían pasando por otro nodo independientemente de flujo de cada arco y a la vez la reconectada es la que enlaza a los nodos al menos por una ruta; de esta manera se conectan los clientes a visitar con los agentes de seguro una visita tras otra identificando la ruta óptima minimizando el recorrido esperado el recorrido entre los nodos.

La aplicación de un modelo de redes que conecta a todos los clientes para ser visitados por los agentes de seguros, encontrar la ruta optima se convierte en un problema matemático el cual al contar con característica de un conjunto ordenado y finito de operaciones como el algoritmo que se aplicaría en el modelo de red para el cumplimiento de los objetivos. En una visita programada a diferentes perfiles y segmentos de clientes la optimización del recorrido como encontrar la ruta más corta.

El problema del agente viajero, (TSP) como los demás de redes, introduce un conjunto de nodos y arcos que conectan todos los nodos. La finalidad es encontrar la forma de realizar una gira completa que conecte todos los nodos visitando sólo una vez cada nodo y minimizar o maximizar la distancia de la gira total. Este modelo tiene numerosas aplicaciones en el ámbito de la ingeniería.

La dificultad del cálculo del problema del agente viajero (TSP) sigue despertando múltiples iniciativas por mejorar la eficiencia en el cálculo de las rutas. El procedimiento básico es el conocido con el nombre de fuerza bruta, este consiste en el cálculo de todos los posibles recorridos, por consiguiente, se hace extremadamente ineficiente y casi que se imposibilita en redes de gran tamaño. También, existen heurísticos que se han desarrollado por la complejidad en el cálculo de soluciones óptimas en redes robustas, por eso, existen métodos como el vecino más cercano, la inserción más barata y el doble sentido. Para terminar, se encuentran los algoritmos que proporcionan soluciones óptimas, como el método de branch and bound (ramificación y poda), cuya tarea es desarrollar el problema como un algoritmo de asignación y lo resuelve por medio del método simplex.

El método de la fuerza bruta no acarrea la aplicación de ningún algoritmo sistemático, nada más consiste en reconocer todos los recorridos posibles. Tomando en cuenta la siguiente red, simétrica, las rutas posibles se minimizan.

El procedimiento del vecino más cercano es un algoritmo heurístico diseñado para solucionar el problema del agente viajero (TSP), no asegura una solución óptima, no obstante, suele facilitar buenas soluciones, y tiene un tiempo de cálculo muy eficiente. El procedimiento para el desarrollo es muy similar al utilizado para resolver problemas de árbol de expansión mínima.

Método de branch and bound (ramificación y poda) nos facilita una solución óptima del problema del agente viajero (TSP), calculando mediante el algoritmo simplex la solución del modelo. A medida que aumente el tamaño de la red el procedimiento puede tardar cantidad de tiempo en resolverse, pero, para las redes de mediano tamaño, es la mejor alternativa. En esta investigación se utilizará el módulo Network Modeling del software WinQSB para identificar la solución óptima.

## **Materiales y métodos**

El presente estudio tuvo diseño de investigación pre experimental, pues se pretendió manipular, mínimamente la variable independiente “modelo de redes con algoritmo del agente viajero” para observar su efecto en la dependiente (rutas). La población fueron los afiliados y colaboradores de la oficina de Chimbote y los clientes, incluidos en la programación de visitas, que están afectados directamente al problema (dueños del problema) durante un día de trabajo. La muestra estuvo conformada por los colaboradores y afiliados de la empresa de seguros.

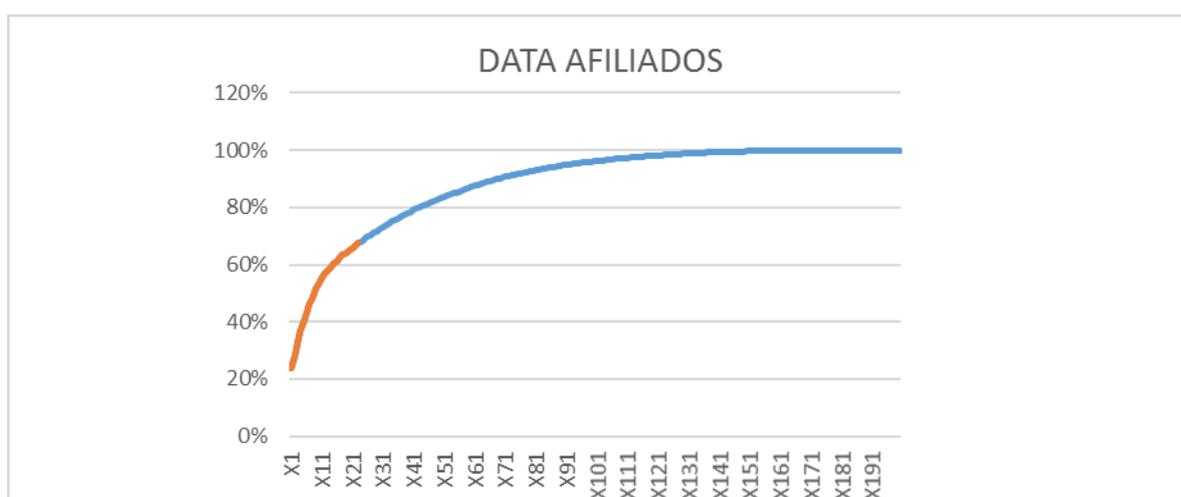
En el procedimiento, se evaluaron tres dimensiones de la variable independiente como son la demanda, la distribución de flujo y el modelo matemático. Para la obtención y análisis de datos de la demanda se trabajó una base de 200 afiliados; para la distribución de flujo se recolectó la información para obtener datos de ubicaciones de los clientes y sus distancias; en la formulación del modelo matemático se modeló la definición del problema en relaciones matemáticas; para poder resolver el problema del modelo matemático que permitió obtener la ruta más corta en la red, se formuló un modelo de programación lineal utilizando variables binarias del modelo del problema del agente viajero TSP. En la solución del modelo, se realizó la corrida de los datos en el módulo Network Modeling del programa WinQSB. En la validación cualitativa se compararon los resultados del cuestionario; instrumento utilizado en la aplicación de las técnicas de recolección de datos, con una validez y confiabilidad del 96.5% (34 elementos).

Se usó material bibliografía de diferentes autores. Los programas de acuerdo al grado de importancia para la elaboración del presente trabajo fueron, programa Google Earth, programa Google Maps, programa y manual de WinQSB, programa XlStat, programa IBM SPSS V 20, microsoft Office (Excel, Word) y datos relevantes y actuales de la red de visitas de la empresa. La herramienta que se utilizó para llegar de manera eficiente al resultado, fue el uso de las matrices como la matriz de antecedentes, la matriz de operacionalización, la matriz de consistencia y la matriz de desenlace.

## Resultados

El modelo de redes con algoritmo del Agente Viajero resolvió la pregunta de qué manera la demanda, la distribución de flujo y el modelo matemático, en el modelo de redes con algoritmo del agente viajero, minimiza el recorrido de las visitas programadas, desde el punto denominado inicio (0), puesto que viene a ser la oficina principal y llegar a los lugares de destino o domicilios, procurando minimizar el recorrido y los tiempos en el traslado.

Para la identificación de la demanda del estudio, se analizó la base de datos con la metodología ABC. La figura 1, muestra el gráfico de Pareto para los 200 afiliados de las diferentes AFP que demandan atención, cada afiliado mantiene una cuenta CIC en su AFP, con un saldo en soles, la suma de todas las cuentas ascendió a S/. 6'495,950.15.



**Figura 1.** Análisis ABC tomando como criterio de clasificación la CIC, para la obtención de la muestra.

**Nota.** Tomado de la base de datos empresa de seguros 2017.

En la Figura 1, se muestra el gráfico de Pareto de donde se obtuvieron los 23 afiliados (categoría A, la línea naranja) que representan el 67.46% de la CIC (Cuenta Individual de Capitalización) total, por la cantidad de S/ 4' 381, 871.09, detalle que se observa también en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
*Detalle de los datos de la categoría A*

N°	AFILIADO	CIC (soles)
1	X1	1.544.869,38
2	X2	299.382,58
3	X3	291.068,92
4	X4	266.088,92
5	X5	206.086,34
6	X6	195.302,86
7	X7	191.848,59
8	X8	185.207,86
9	X9	165.700,39
10	X10	154.971,34
11	X11	96.752,95
12	X12	89.210,45
13	X13	86.507,17
14	X14	77.055,16
15	X15	73.882,78
16	X16	72.261,44
17	X17	69.090,86
18	X18	54.703,26
19	X19	53.407,43
20	X20	52.623,73
21	X21	52.577,46
22	X22	51.947,08
23	X23	51.324,14

**Nota. Adaptado de la base de datos empresa de seguros 2017**

La Tabla 1, muestra la data de los 23 afiliados con un acumulado CIC (Cuenta Individual de Capitalización) de S/ 4' 381, 871.09.

Para la elaboración de la distribución de flujo, primero se consideró la ubicación del domicilio de los afiliados, para ello se utilizaron los softwares Google Earth, Google Maps y GPS, con estos se ubicarían las direcciones y se marcaría el respectivo destino o punto en el mapa. Por lo tanto, se procedió a ubicar las 23 direcciones de los afiliados y el de la oficina, ubicados en los distritos de Chimbote y Nuevo Chimbote los cuales formaban parte de las zonas que maneja la compañía aseguradora.

La Tabla 2, muestra el flujo general; las 23 direcciones con sus coordenadas.

**Tabla 2**

*Base de datos flujo general*

Nº	DIRECCIÓN	COORDENADAS	LÍNEA DIAGONAL (METROS)	RUTEO (METROS)
X0	CHIMBOTE	-9.077011, -78.592117		
X1	CHIMBOTE	-9.076030, -78.591982	108,32	220
X2	CHIMBOTE	-9.073096, -78.593074	445,63	600
X3	CHIMBOTE	-9.073690, -78.594865	475,81	950
X4	CHIMBOTE	-9.072395, -78.590290	547,51	1100
X5	CHIMBOTE	-9.072632, -78.585601	863,37	1300
X6	CHIMBOTE	-9.075773, -78.583757	929,26	1500
X7	CHIMBOTE	-9.072979, -78.603225	1.300,23	1500
X8	CHIMBOTE	-9.059174, -78.585308	2.108,65	2700
X9	CHIMBOTE	-9.047051, -78.592362	3.314,00	4200
X10	CHIMBOTE	-9.096272, -78.568159	3.387,66	3700
X11	CHIMBOTE	-9.101545, -78.563076	4.190,07	5100
X12	NUEVO CHIMBOTE	-9.119915, -78.550138	6.619,33	8100
X13	NUEVO CHIMBOTE	-9.120075, -78.529285	8.390,40	9300
X14	NUEVO CHIMBOTE	-9.121441, -78.529544	8453,72	9100
X15	NUEVO CHIMBOTE	-9.126119, -78.531275	8.616,01	9500
X16	NUEVO CHIMBOTE	-9.122724, -78.524819	8.960,92	10000
X17	NUEVO CHIMBOTE	-9.129052, -78.528137	9.087,29	10000
X18	NUEVO CHIMBOTE	-9.129816, -78.521796	9.688,50	10600
X19	NUEVO CHIMBOTE	-9.124827, -78.516935	9.811,70	12000
X20	NUEVO CHIMBOTE	-9.119347, -78.511855	9.988,52	11200
X21	NUEVO CHIMBOTE	-9.135554, -78.520449	10.197,90	11100
X22	NUEVO CHIMBOTE	-9.137580, -78.520458	10.340,69	11300
X23	NUEVO CHIMBOTE	-9.121449, -78.502914	10.968,72	12700

*Nota. Datos tomados de Google Earth 2017*

Una vez ubicado todos los puntos en el mapa (Figura 1) se procedió a conectarlos tomando en cuenta la cercanía entre los puntos más cercanos entre sí; para cada distancia entre punto y punto se contempló una distancia euclidiana, la cual es una longitud del segmento de recta que tiene por extremos dos puntos del plano y con ello se elaboró una matriz de distancias con los 23 nodos (Figura 2)



**Figura 1.** Mapa con la red potencial inicial  
*Nota.* Tomado de Google Earth 2017.

°	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
X0		108.3	445.6	475.8	547.5	863.3	929.2	1300	2108	3314	3387	4190	6619	8390	8453	8616	8960	9087	9688	9811	9988	10197	10340	10968
X1	108.33		345.8	409.5	443.5	795.9	904.7	1,281			3,445													
X2	445.63	345.8		207.1	316.0				1,760															
X3	475.81	409.5	207.1					922.8	1,918															
X4	547.51	443.5	316.0			516.5			1,561															
X5	863.37	795.9			516.5		402.3		1,489															
X6	929.26	904.7				402.3			1,843		2,842	3,646												
X7	1300	1,281		922.8					2,492	3,106														
X8	2108		1,760	1,918	1,561	1,489	1,843	2,492		1,549														
X9	3314							3,106	1,549															
X10	3387	3,445					2,842					807.6	3,280											
X11	4190						3,646						807.6	2,479										
X12	6619										3,280	2,479			2,270	2,183								
X13	8390														153.7		571.7							
X14	8453												2,270	153.7		551.5	538.5							
X15	8616												2,183		551.5		802.8	473.3						
X16	8960													571.7	538.5	802.8		789.2	875.8	897.1				
X17	9087															473.3	789.2		702.1			1,109	1,265	
X18	9688																875.8	702.1		767.9		651.8		
X19	9811																897.1		767.9		824.6	1,247		1,586
X20	9988																			824.6				1,009
X21	10197																	1,109	651.8	1,247	1,247		223.8	
X22	10340																	1,267					223.8	
X23	10968																			1,586	1,586			

**Figura 2. Matriz de Distancias**

*Nota.* Tomado de Google Earth 2017.



Minimization (Traveling Salesman Problem)

05-04-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node2	108.33	13	Node18	Node19	702.13
2	Node2	Node3	345.88	14	Node19	Node22	651.8500
3	Node3	Node4	207.1	15	Node22	Node23	223.81
4	Node4	Node8	922.8900	16	Node23	Node5	M
5	Node8	Node9	2492.290	17	Node5	Node10	M
6	Node9	Node6	1489.570	18	Node10	Node14	M
7	Node6	Node7	402.3000	19	Node14	Node15	153.74
8	Node7	Node11	2842.560	20	Node15	Node17	538.56
9	Node11	Node12	807.6700	21	Node17	Node20	897.12
10	Node12	Node13	2479.770	22	Node20	Node21	824.62
11	Node13	Node16	2183.840	23	Node21	Node24	1009.980
12	Node16	Node18	473.3900	24	Node24	Node1	10968.72
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	M
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic]		

Figura 3. Resultado WinQSB Red Potencial Inicial.

Nota. Programa WinQSB versión 2.0.

La ejecución del programa resultó con la obtención de la ruta óptima de la red potencial inicial (Figura 4):

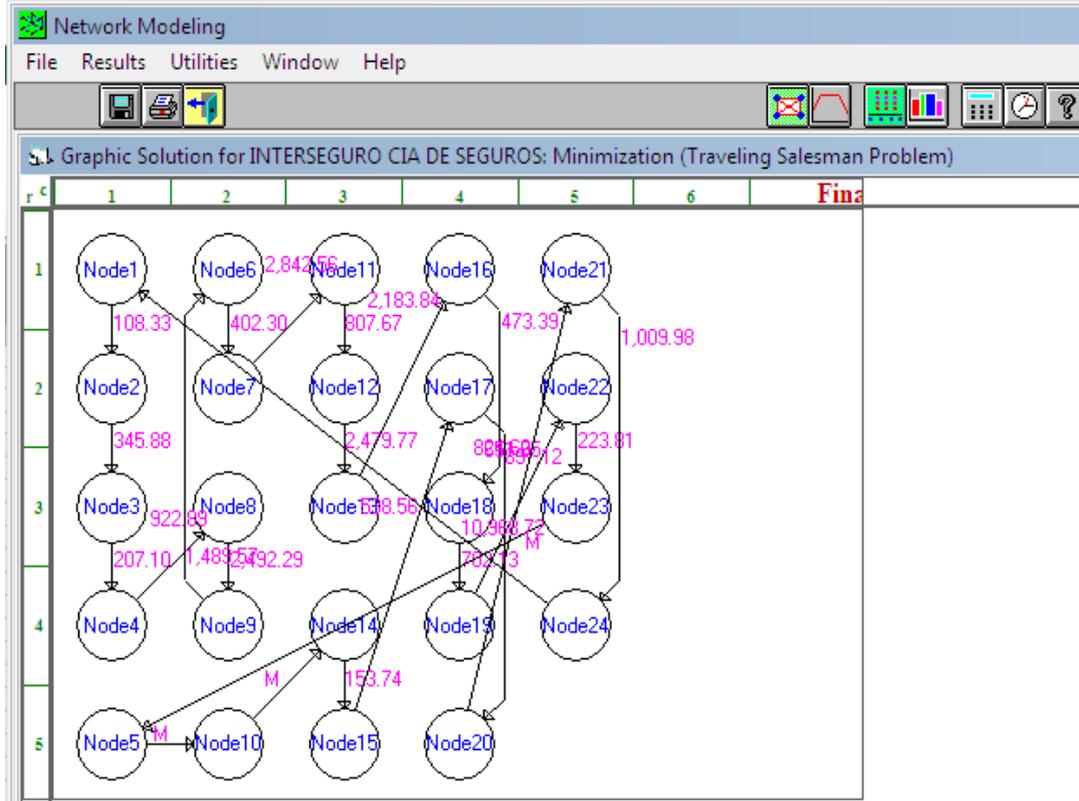


Figura 4. Ruta óptima red potencial inicial.

Nota. Programa WinQSB versión 2.0. Es la ruta planificada

La figura 4, muestra la ruta óptima: 1- 2- 3 - 4 – 8 – 9 – 6 – 7 - 11- 12 - 13- 16 - 18 - 19 - 22 – 23 – 5 – 10 - 14 – 15 – 17 – 20 - 21 – 24 – 1

La Tabla 3, muestra la ruta óptima de la Figura 4, con los datos del punto de origen a los puntos más cercanos de la línea diagonal de la Tabla de flujo general (Tabla 2) se obtuvo una distancia de 78 292,55 m. Con los datos de los mismos puntos en la matriz de distancias aplicando el modelo del Agente Viajero obtuvimos una distancia de 30 725,12 m, minimizando de esta manera 47 567,43 m del recorrido en una ruta ideal (equivalente a 60.72%).

**Tabla 3**

*Red Potencial Inicial considerando el “punto más cercano” y la ruta óptima según el modelo del Agente Viajero (TSP).*

Nº	LINEA DIAGONAL	Punto Cercano Ruta Ideal (m)		TSP Ruta Ideal (m)
X0			X0	
X1	108,33	108,33	X1	108.33
X2	445,63	337,30	X2	345.88
X3	475,81	138,51	X3	207.1
X4	547,51	409,00	X7	922.89
X5	863,37	454,37	X8	2492.29
X6	929,26	474,89	X5	1489.57
X7	1.300,23	825,34	X6	402.3
X8	2.108,65	1.283,31	X10	2842.57
X9	3.314,00	2.030,69	X11	807.67
X10	3.387,66	1.356,97	X12	2479.77
X11	4.190,07	2.833,10	X15	2183.84
X12	6.619,33	3.786,23	X17	473.39
X13	8.390,40	4.604,17	X18	702.13
X14	8.453,72	3.849,55	X21	651.85
X15	8.616,01	4.766,46	X22	223.81
X16	8.960,92	4.194,46	X4	0.00
X17	9.087,29	4.892,83	X9	0.00
X18	9.688,50	4.795,67	X13	0.00
X19	9.811,70	5.016,03	X14	152.74
X20	9.988,52	4.972,49	X16	538.56
X21	10.197,90	5.225,41	X19	897.12
X22	10.340,69	5.115,28	X20	824.62
X23	10.968,72	5.853,44	X23	1009.98
X0		10.968,72	X0	10968.72
	<b>TOTAL</b>	<b>78292,55</b>	<b>TOTAL</b>	<b>30725.12</b>

**Fuente: Programa WinQSB versión 2.0**

Se observa que se logró obtener una ruta ideal que conecta a todos los puntos de la red de distancias. Con esta solución el recorrido de un supervisor sería más efectivo, aunque en dicho recorrido sólo se está tomando en cuenta una ruta ideal, es decir, se considera que para llegar de un punto a otro se debe seguir una línea recta, lo cual no refleja la real configuración de las calles.

Debido a esto se obtuvo la ruta real (Tabla 2, datos del ruteo) para la red potencial inicial y para cada clúster, siguiendo la dirección y el sentido de las calles. Para calcular la distancia de dicha ruta real se

utilizó el software Google Earth, puesto que va mostrando la distancia a medida que se recorre la ruta por las calles. Se consideró que todo el recorrido que realiza el supervisor en la red potencial inicial o en cada clúster lo hace en un vehículo motorizado.

### Red potencial inicial real

05-16-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node2	108.33	7	Node6	Node7	402.3000
2	Node2	Node3	345.88	8	Node7	Node11	2842.560
3	Node3	Node4	207.1	9	Node11	Node12	807.6700
4	Node4	Node8	922.8900	10	Node12	Node5	M
5	Node8	Node9	2492.290	11	Node5	Node10	M
6	Node9	Node6	1489.570	12	Node10	Node1	3314
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	M
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

Figura 5. Red potencial inicial real.

Nota. Programa WinQSB versión 2.0.

La figura 5, muestra como resultado la siguiente ruta óptima: 1 – 2 – 3 – 4 – 8 – 9 – 6 – 7 – 11 – 12 – 13 – 16 – 18 – 19 – 22 – 23 – 5 – 10 – 14 – 15 – 17 – 20 – 21 – 24 – 1

Con los datos del punto de origen a los puntos más cercanos de ruteo en el flujo general, obtenemos una distancia de 90 570 m, con los datos de los mismos puntos en la matriz de distancias aplicando el modelo del agente viajero obtenemos la distancia de 32 569.07 m, minimizando de esta manera 58000.93 m del recorrido en una ruta real (equivalente a 64.04%).

### Clúster 1 Chimbote ruta real

05-17-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node2	220	7	Node6	Node7	402.3000
2	Node2	Node3	345.88	8	Node7	Node11	2842.560
3	Node3	Node4	207.1	9	Node11	Node12	807.6700
4	Node4	Node8	922.8900	10	Node12	Node5	M
5	Node8	Node9	2492.290	11	Node5	Node10	M
6	Node9	Node6	1489.570	12	Node10	Node1	4200
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	M
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

Figura 6. Ruta real para el clúster 1.

Nota. Programa WinQSB versión 2.0.

La Figura 6, muestra la siguiente ruta óptima: 0 – 1 – 2 – 3- 7 – 8 – 5 – 6 – 10 – 11 – 4 – 9 – 0.

Con el ruteo en el flujo del clúster 1, obtuvimos una distancia de 18 370 metros, con los datos de los mismos puntos en la matriz de distancias aplicando el modelo del agente viajero se obtuvo la distancia de 13 930.26 metros, minimizando de esta manera 4 439.74 el recorrido en una ruta real (equivalente a 24.17%).

### Clúster 2 Nuevo Chimbote ruta real

05-18-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node2	8100	8	Node3	Node4	153.74
2	Node2	Node5	2183.840	9	Node4	Node6	538.56
3	Node5	Node7	473.3900	10	Node6	Node9	897.12
4	Node7	Node8	702.13	11	Node9	Node10	824.62
5	Node8	Node11	651.8500	12	Node10	Node13	1009.980
6	Node11	Node12	223.81	13	Node13	Node1	12700
7	Node12	Node3	M				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	M
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

**Figura 7. Ruta real para el clúster 2.**

*Nota.* Programa WinQSB versión 2.0.

La Figura 7, muestra la siguiente ruta óptima: 0 – 1 – 4 – 6 – 7 – 10 – 11 – 2 – 3 – 5 – 8 – 9 – 12- 0.

Con los datos del punto de origen a los puntos más cercanos del ruteo en el flujo del clúster 2, obtuvimos una distancia de 77 300 metros, con los datos de los mismos puntos en la matriz de distancias aplicando el modelo del Agente Viajero obtuvimos la distancia de 28 459,04 metros minimizando de esta manera 48 840,96 m el recorrido en una ruta real (equivalente a 63.18%).

Para estas tres rutas reales, en los recorridos de las distancias se aplicará la velocidad del vehículo estimada (27 Km/h).

El resultado de la Tabla 4, confirma que en la red potencial inicial el ahorro del tiempo es de 1 289 min, en el clúster 1 el ahorro del tiempo es de 98 min y en el clúster 2 el ahorro del tiempo es de 1 086 min.

**Tabla 4**

**Resultado del tiempo óptimo de la ruta real**

Nº	Ruta Real	Nº nodos	“Punto más cercano” Tiempo (min)	TSP Tiempo (min)	Diferencia Tiempo (min)
1	Red potencial	23	2 013	724	1 289
2	Clúster 1	11	408	310	98
3	Clúster 2	12	1 718	632	1 086

*Nota.* Datos tomados del programa WinQSB v. 2.0

### Discusión

Se identificó la demanda del total de clientes potenciales con la toma de una muestra valiosa de 23 clientes quienes representaron el 67.46% del total del CIC, con este resultado se desarrolló el recorrido de visitas elaborando una distribución de flujo con el algoritmo del Agente Viajero. La elaboración de un modelo de red inicial potencial, clúster 1 y clúster 2 y el proceso efectivo en el mapeo de los clientes minimizó el recorrido de visitas programada en la empresa aseguradora. La creación de los clúster ayudó a simplificar un problema grande en varios problemas pequeños.

Con la aplicación del modelo de redes con algoritmo del Agente Viajero se encontró un recorrido completo que conecta todos los nodos de una red, visitándolos tan solo una vez y volviendo al punto de partida y que además minimizó el recorrido total de la ruta. Quedó definida una matriz de distancias que incluía el conjunto de nodos y arcos y que permitió desarrollar un recorrido completo que conectaba a todos los nodos de la red. Con la aplicación del software WinQSB se obtuvo el total del recorrido, minimizado en 58 000.93 m, el cual representa el 64.04% del recorrido total y una reducción del tiempo de recorrido de 1289 minutos que representan el 64.03% del tiempo total.

En investigaciones, al respecto, como el de Riveros (2015) también se obtuvo la ruta que minimizó el recorrido de desplazamiento en la entrega de bienes, usando las herramientas de la investigación de operaciones; asimismo, se concuerda con la investigación de Ramírez(2014) que usó la dinámica de sistemas para optimizar las rutas de recojo de residuos sólidos concluyendo que el modelo matemático de programación lineal demuestra que con un efectivo y eficiente uso de recursos se puede minimizar en una ruta hasta 1.02 kilómetros de la ruta planteada de recorrido ahorrando combustible y hora vehículo. También el estudio de Ocaña (2012) obtuvo un ahorro del 23% en el tiempo total del recorrido y logró eliminar de manera permanente el vehículo de apoyo. El estudio de Arias (2010) concluyó que si bien la reducción de la distancia total del recorrido en la ruta propuesta es sólo del 15.2%, se debe tener en cuenta que la ruta inicial fue determinada en base en la experiencia y el conocimiento de personas que trabajan diariamente en el transporte escolar.

Al aplicarle a nuestros datos la prueba estadística en XLSTAT el valor de “p” nos arroja 0.0001 lo que nos indica que, si existe una significancia estadística de los datos, por consiguiente aceptamos la hipótesis alternativa, el resultado cualitativo del modelo de redes con algoritmo de agente viajero, según el coeficiente de determinación  $R^2= 93\%$  por tanto existe una correlación positiva muy fuerte sobre minimizar recorridos de las visitas programadas, con esto podemos concluir que el modelo de redes con algoritmo de agente viajero minimiza el recorrido de visitas programadas.

### Conclusión

Se aplicó el modelo matemático del agente viajero en el módulo Network Modeling, el cual se procedió a ejecutarlo utilizando el programa WINQSB (TSP), con el cual se minimizó la distancia de la red potencial real con un ahorro de tiempo de 1 289 min, equivalente a 58 000,93 m (64.04%); del

clúster 1 real con un ahorro de 98 minutos, equivalente a 4 439 m (24.17%); y el clúster 2 real con un ahorro de 1 086 min, equivalente a 48 840,96 m (63.18%). Estos resultados obtenidos con el desarrollo del modelo favorecen a la productividad del supervisor ya que ayuda a realizar las visitas de manera ordenada y a un tiempo óptimo.

### Referencias bibliográficas

- Arias, J. S. (2010). Aplicación de un modelo de optimización en la planeación de rutas de los buses escolares del colegio liceo de cervantes norte (Tesis de titulación). Recuperada de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7367/tesis403.pdf?sequence=1>
- Bañegil, T. M., Chamorro, A., Miranda, F. J. y Rubio, S. (2004). *Manual de dirección de operaciones*. Madrid : Paraninfo.
- Bolaños, I. (2014). Un algoritmo metaheurístico para la solución del problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos y flota heterogénea. Trabajo de titulación (Maestría en Ingeniería Eléctrica). Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4647/5196B687.pdf;jsessionid=6C642FC288B8B87FCBD455009E489251?sequence=1>
- Carbonel, T. (2015). *Modelo matemático de planificación de rutas para minimizar los costos de reparto de la empresa San Isidro Labrador S.R.L en el año 2015* (Tesis de titulación). Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.
- Chase R. & Jacobs R. (2013). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros*. 13ª. Edic. México : McGraw-Hill
- González, M. (2014). Desarrollo de una herramienta de optimización de rutas para la empresa verificaciones industriales de Andalucía (VEIASA). (Tesis de titulación). Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5379/fichero/PFC+Macarena+Gonz%C3%A1lez+Guti%C3%A9rrez-DEF.pdf>
- Luna, L. C. (2015). Localización de paradas y diseño óptimo de rutas para transporte de personal. Trabajo de titulación (Maestría en Logística y Cadena de Suministro). Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/9541/1/1080214944.pdf>
- Molina, J. C. (2016). Diseño y aplicación de una herramienta para la optimización de rutas de vehículos con aspectos medioambientales. (Tesis de titulación). Recuperada de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/45274>
- Ocaña, R. A. (2012). Diseño de un modelo matemático para resolver problemas de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo, con la aplicación del algoritmo de Clarke & Wright. Caso de estudio: Empresa de Servicio de Courier de la ciudad de Guayaquil. (Tesis de titulación). Recuperada de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24829>
- Riveros, D. A. (2015). Aplicación de la investigación de operaciones al problema de la distribución a una empresa de logística. (Tesis de titulación). Recuperada de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4365>
- Ramírez S. R. (2014). Uso de la dinámica de sistemas para optimizar las rutas de recojo de residuos sólidos en el distrito de Tarapoto. (Tesis de titulación). Recuperada de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/1880>
- Rojas, A. P. (2014). Optimización de la política de despacho de compañía farmacéutica, desde centro de distribución hacia locales de región metropolitana. (Tesis de titulación). Recuperada de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131326/Optimizacion-de-la-politica-de-despacho-de-compania-farmacaceutica-desde-centro.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Taha, H.A. (2012). *Investigación de operaciones*. 9a edición. México : Pearson