



# Aplicación del Modelo del Agente Viajero en la distribución de especias

Application of the Traveling Agent Model in the Distribution of Spices

Marco Maciel-Monteon<sup>a\*</sup>, Carlos Gastelum-Acosta<sup>a</sup>, Gabriel Luna-Sandoval<sup>a</sup>, Martin Santacruz-Tirado<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Estatal de Sonora, Unidad Académica San Luis Río Colorado, Sonora, México.

\*Corresponding author: marco.maciel@uabc.edu.mx

**Abstract**— This research paper presents a real application of the Traveling Salesperson Problem (TSP) to establish the route of a distribution network, seeking to optimize the distance between the supplier and customers, in such a way that impacts distribution costs; This application is carried out in a company that distributes spices located in the city of San Luis Río Colorado, Sonora, Mexico. The results of applying the TSP model allow us to design a route that minimizes the journey and consequently obtain financial savings.

**Keywords**— TSP, distribution network, resource optimization, distribution of spices

**Resumen**—Esta investigación presenta una aplicación real del modelo del agente viajero (TSP por sus siglas en inglés) para establecer la ruta de una red de distribución, buscando optimizar la distancia entre el proveedor y los clientes, de tal manera que impacte en los costos de distribución; dicha aplicación se lleva a cabo en una empresa distribuidora de especias ubicada en la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora, México. Los resultados de aplicar el modelo TSP permiten diseñar una ruta que minimice el recorrido y por consecuencia obtener ahorros financieros.

**Palabras Claves**— TSP, red de distribución, optimización de recursos, distribución de especias

## I. INTRODUCCIÓN

El comercio es una de las actividades más antiguas de la humanidad y siempre ha requerido de rutas de transporte para llevarse a cabo; en la actualidad las ciudades están compuestas de un gran número de redes logísticas que conforman una entidad muy compleja, por lo que la optimización tiene un papel muy importante en su sostenimiento [1].

Con las redes de distribución se atienden las necesidades de demanda de los clientes, a partir de su capacidad de producción y la logística de distribución, de ahí, la gran importancia que tiene el adecuado diseño de este proceso, factor importante en la eficiencia y capacidad de las empresas para satisfacer los requerimientos del mercado de acuerdo con [2].

El objetivo de este artículo es mostrar la aplicación del

modelo TSP (Traveling Salesperson Problem) para la optimización de una ruta de distribución en una empresa empackadora de especias que comercializa sus productos en la ciudad de Mexicali B.C., buscando la menor distancia entre el proveedor y cada uno de los clientes. El artículo presenta los antecedentes de las redes de distribución, así como el uso del TSP. Después, se desarrolla la aplicación del TSP en la empresa distribuidora de especias y finalmente se presentan los resultados obtenidos y la conclusión.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

La cadena de suministros en una organización permite identificar los elementos que la componen: el abastecimiento, la producción, el almacenamiento y la distribución; siendo la distribución una parte crítica de la cadena de suministro [3], por lo que aplicaremos el TSP para optimizar la red de distribución de una empresa que empacka

y distribuye especies. El TSP es el problema de optimización combinatoria más conocido y estudiado en el área de la optimización y consiste en encontrar la ruta más corta para visitar un número determinado de ciudades una sola vez, partiendo desde un origen y regresando a él [4]. Aparentemente es muy sencillo de acuerdo a su planteamiento, sin embargo, es uno de los más complejos para resolver y ha retado a los matemáticos a través de los siglos [5]. El origen del término no se conoce a ciencia cierta, sin embargo, se cree fue en los Estados Unidos de América donde se acuñó y en la década de 1930 en la Universidad de Harvard se comenzó a trabajar sobre el problema del viajero y en las décadas de los 50 y 60 se hizo más popular y se comenzó a estudiar con un número mayor de ciudades [5]. Los primeros reportes escritos que se publicaron datan de 1949, pero el análisis combinatorio del TSP se inicia con los trabajos de Dantzig, Fulkerson y Jhonson [4].

El problema de encontrar el camino más corto a través de un grafo hamiltoniano (es decir, un camino que visita cada nodo en el gráfico de una sola vez) se puede transformar en el TSP con las ciudades y distancias que representan las gráficas vértices y pesos de las aristas, respectivamente.

Encontrar el camino más corto a través de un grafo hamiltoniano para todas las ciudades sin tener en cuenta los criterios de valoración, puede ser logrado mediante la inserción de una "ciudad ficticia" que tiene una distancia de cero a todas las demás ciudades. La posición de esta ciudad, en la última gira representa el punto de corte para el camino. Lo propuesto a continuación es utilizar un algoritmo heurístico para encontrar una ruta corta en un TSP.

El problema del TSP clásico, se relaciona con encontrar el recorrido más corto en una situación de  $n$  ciudades, donde cada ciudad es visitada exactamente una vez antes de regresar al punto de partida. El modelo TSP asociado se define por medio de dos datos:

1. El número de ciudades,  $n$ .

2. Las distancias  $d_{ij}$  entre las ciudades  $i$  y  $j$  ( $d_{ij}=\infty$  si las ciudades  $i$  y  $j$  no están comunicadas). Un recorrido prohíbe conectar una ciudad a sí misma al asignar una penalización muy alta a los elementos diagonales de la matriz de distancias [6]. El problema se define como:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se llega a la ciudad } i \text{ desde la ciudad } j \\ 0, & \text{de lo contrario.} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}, \quad (2)$$

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (3)$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{\substack{i \in V \\ i \neq j}} X_{ij} = 1 \quad j \in V \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{i \in V \\ i \neq j}} X_{ji} = 1 \quad j \in V \quad (5)$$

$$t_i + 1 \leq t_j + n(1 - x_i), \quad i = 2, \dots, n \neq j, \quad j = 2, \dots, n.$$

$$t_1 = 1$$

$$t_i \geq 0, \quad t_1 \in \mathbb{Z}, X_{ij} \in \{0,1\} \quad i \in V, j \in V$$

Para llevar a cabo este trabajo de aplicación, primeramente, se hace una descripción breve de la empresa en cuestión y el problema de distribución actual, enseguida la formulación del problema TSP, la modelación del TSP a través del software FICO Xpress 7.8 [7] que nos facilitó encontrar la ruta con el menor recorrido para tomar los pedidos de los clientes. Para desarrollar una red de distribución que optimice las distancias con la aplicación del modelo TSP, se tomó como caso de estudio a una empresa que empaca y comercializa especies. La empresa en cuestión es una PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas) ubicada en la Ciudad de San Luis Río Colorado (SLRC), Sonora; que empaca y comercializa sus productos en la Ciudad de Mexicali Baja California, con una variedad de 120 productos que son entregados para su venta en mercados de autoservicio. El estudio está limitado a la toma de pedidos únicamente, para lo cual se visitan todos los clientes en un mismo día utilizando un solo vehículo. La red de distribución se caracteriza por tener un centro de distribución único que está ubicado en la planta donde se empaacan los productos en la ciudad de SLRC aproximadamente 70 kilómetros de la ciudad de Mexicali, se cuenta con un vehículo para tomar los pedidos de cada uno de los 37 clientes. Actualmente, la ruta está condicionada a la experiencia del agente que visita a los clientes sin tomar en cuenta ningún análisis, por lo que ocasiona retrasos, ruta incompleta y exceso de recorridos. El estudio que se desarrolló, permitió encontrar una ruta que reduce el recorrido en kilómetros del agente que toma los pedidos, impactando en los tiempos de retraso del mismo y en la conformación de los pedidos en la planta.

El modelo de TSP para este caso de estudio, consta de 38 nodos ( $n = 38$ ), donde el nodo inicial o nodo cero corresponde al centro de distribución y los 37 restantes a los clientes distribuidos en la ciudad de Mexicali. En el modelo el agente debe visitar los diferentes clientes desde el centro de distribución y regresar al mismo para finalizar su recorrido diario. Para cada par de nodos  $n_{ij}$ , existe una distancia  $C_{ij}$ ; como se muestra en la tabla I para 10 de los 37 clientes.

TABLA I. Distancias entre 10 clientes

Km	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.0	79.4	63.3	78.1	64.7	72.9	77.6	72.9	81.4	84.2	82.8
1	79.4	0.0	15.4	6.3	14.0	4.1	7.3	6.3	3.3	1.4	0.1
2	63.3	15.4	0.0	10.2	1.9	3.5	10.1	8.9	13.2	16.9	16.1
3	78.1	6.3	10.2	0.0	9.9	10.8	5.9	2.9	5.0	6.1	6.9
4	64.7	14.0	1.9	9.9	0.0	10.4	11.6	8.0	12.3	15.0	14.2
5	72.9	4.1	3.5	10.8	10.4	0.0	5.7	3.5	6.3	9.5	7.8
6	77.6	7.3	10.1	5.9	11.6	5.7	0.0	5.2	7.1	8.3	6.6
7	72.9	6.3	8.9	2.9	8.0	3.5	5.2	0.0	5.1	9.9	8.2
8	81.4	3.3	13.2	5.0	12.3	6.3	7.1	5.1	0.0	4.1	2.0
9	84.2	1.4	16.9	6.1	15.0	9.5	8.3	9.9	4.1	0.0	1.3
10	82.8	0.1	16.1	6.9	14.2	7.8	6.6	8.2	2.0	1.3	0.0

La función objetivo planteada para modelar el recorrido de la ruta en kilómetros de la red de distribución de la empresa de especias para visitar a cada uno de los clientes se muestra en la figura 1.



Fig. 1. Ubicación de los clientes en la Ciudad de Mexicali, B.C.

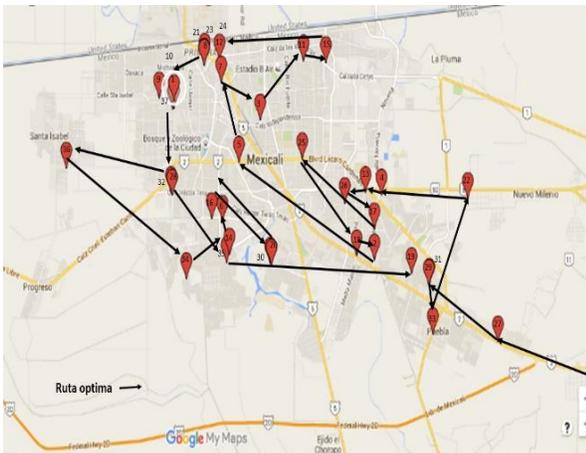


Fig. 2. Ruta final a seguir en la visita de los clientes.

### III. RESULTADOS

La ejecución del modelo de TSP aplicado en la empresa que empaca y distribuye especias en la ciudad de Mexicali, el problema se modeló y programó en el lenguaje MOSEL (MOdeling Specification and Evaluation Language) [8] y se realizó la simulación en el software FICO Xpress 7.8 [7] en una computadora con procesador Pentium I-7 con 16 GB de RAM obteniéndose los siguientes resultados:

El recorrido óptimo fue de 207.1 kilómetro y la secuencia en los clientes se muestra en la tabla II.

TABLA II. Ruta de distribución.

Cliente i	Cliente j	Recorrido (Km)
0	27	58.9
27	31	3.2
31	29	0.5
29	33	2.8
33	22	6.1
22	4	3.4
4	13	0.9
13	26	1.5
26	17	2.3
17	25	0.8
25	18	1.1
18	2	1.1
2	5	3.5
5	7	3.5
7	3	2.9
3	11	5.1
11	15	1.2
15	12	6.4
12	23	1.0
23	24	0.1
24	21	0.4
21	8	0.2
8	10	2.0
10	1	0.1
1	9	1.4
9	37	1.3
37	32	1.9
32	36	2.9
36	34	1.0
34	14	3.3
14	6	1.9
6	16	2.1
16	20	5.1
20	30	0.9
30	28	4.1
28	35	2.4
35	19	4.0
19	0	61.7

### IV. DISCUSIONES

De los resultados de la tabla I, podemos observar que la ruta óptima para visitar a los clientes de la Empacadora de Especies en su ruta de distribución con el modelo TSP tiene un recorrido de 207.1 kilómetros que se considera el camino más corto simulado por el software FICO Xpress 7.8 [7]. La secuencia de la red de distribución inicia con la salida del cliente 0, es decir, del almacén situado en la Ciudad de San

Luis R.C. para visitar al primer cliente que es el identificado con el número 27, recorriendo 58.9 kilómetros; el segundo cliente a visitar es el identificado con el número 31 y hace un recorrido de 3.2 kilómetros; así sucesivamente hasta visitar los 37 clientes para un recorrido óptimo de 207.1 kilómetros.

## V. CONCLUSIONES

Para esta investigación se tomó como variable fundamental la distancia recorrida real, basada en un límite de puntos que se pueden visitar como máximo debido a que las rutas de transporte bien planeadas y correctamente determinadas representan una mejoría en la asignación de recursos de la empresa, porque elimina rutas innecesarias lo cual se ve reflejado al reducir costos operativos.

Una vez implementado el modelo de mejora, es decir minimizar el costo de sus recorridos, cuando la distribución de sus productos es óptima, TSP es ideal por el ahorro que las empresas reciben puesto que la inversión necesaria para implementar este tipo de proyectos no es considerable [9].

Es de suma importancia considerar al modelo de TSP en organizaciones que requieran minimizar distancias en el recorrido, o requieran mejorar su logística de transporte, porque a pesar de ser un modelo antiguo, sigue dando beneficios en la actualidad como se comprobó en esta investigación y algunas otras realizadas en esta área [10-11], el TSP es uno de los problemas más conocidos y se han llevado a cabo una serie de investigaciones para mejorarlo, pero un estudio que daría realce en la aplicación para mejorar las redes de distribución es incorporarlo al sistema Android a través de los mapas de google [12], esto haría que las PYMES tengan alcance a este tipo de herramientas de mejora.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Muñoz, B. "Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte." *El Hombre y la Máquina*, pp 52-67, 2009.
- [2] Gómez, R. A. "Modelamiento de distribución de productos cárnicos como un tsp (traveling salesman problem) con teoría de grafos." *Clío América*, 2014, pp 8-16.
- [3] Antún, J. P. "Distribución Urbana de Mercancías: Estrategias con Centros Logísticos." Banco Interamericano de Desarrollo, 2013.
- [4] Gutin, G. "Combinatorial Optimization: The Traveling Salesman Problem and Its Variations." Springer, 2007.
- [5] Martínez, A. C. "Cooperación en los problemas del viajante TSP y de rutas de vehículo VRP: una panorámica" Universidad de Santiago de Compostela, 2011.
- [6] Taha, H. A. "Investigación de Operaciones". Pearson, 2012.
- [7] Dash Optimization Ltd, Xpress-Mosel Reference manual, Nueva Jersey, 2007.
- [8] Begain, K.; Bolch, G.; Herold, H. "Practical performance modeling: application of the MOSEL language" Springer Science & Business Media, 2001.
- [9] Paredes, J. J. "Estudio comparativo de la aplicación de heurísticas al problema de ruteo de vehículos." Pontificia Universidad Católica de Perú, 2011.
- [10] Elgesem, A. S.; Skogen, E. S.; Wang, X.; Fagerholt, K. "A traveling salesman problem with pickups and deliveries and stochastic travel times: An application from chemical shipping." *European Journal of Operational Research*, pp 1-16, 2018.
- [11] Malaguti, E.; Martello, S.; Santini, A. "The traveling salesman problem with pickups, deliveries, and draft limits." *Omega*, 74, pp 50-58, 2018.
- [12] Narwadi, T.; Subiyanto. "An application of traveling salesman problem using the improved genetic algorithm on android google maps." *AIP Conference Proceedings*, 2017, pp 020035-1-020035-11.

Este estudio fue financiado por los autores. Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Copyright © 2020 Marco Maciel Monteón, Carlos Gastelum Acosta, Gabriel Luna Sandoval, Martin Santacruz Tirado



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales.

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)