




# Optimización lineal heurística aplicado a la logística de transporte en la industria de dispositivos electrónicos

*Heuristic linear optimization to transport logistics in the electronic device industry*

<sup>a\*</sup>Jorge Gómez-Rojas, <sup>b</sup>Rafael Linero-Ramos, <sup>b</sup>Byron Medina-Delgado

-  a. Doctor en Ingeniería, jgomez@unimagdalena.edu.co, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.  
 b. Magíster en Ingeniería Electrónica, rlineror@unimagdalena.edu.co, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.  
 c. Doctor en ciencias, byronmedina@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

**Recibido:** Mayo 22 de 2021 **Aceptado:** Agosto 27 de 2021

**Forma de citar:** J. Gomez-Rojas, E. Linero-Ramos, B. Medina-Delgado "Optimización lineal heurística aplicado a la logística de transporte en la industria de dispositivos electrónicos", *Mundo Fesc*, vol 11, no. S2 pp. 410-420, 2021.

## Resumen

---

Las compras on-line, especialmente en tiempos de pandemia, han obligado a importar y por ende, transportar una gran cantidad de mercancías en el mundo real. Las investigaciones sobre logística han incrementado y uno de los temas de mayor interés es la planificación de rutas logísticas con minimización de costos. Aunque varios estudios previos han discutido algunos problemas de rutas clásicas, no se consideran limitaciones logísticas reales como la capacidad del vehículo, número de vehículos disponibles por día, almacenamiento, tiempo de recorrido por vías terciarias, etc. En este trabajo se presenta el resultado de investigación llevado a cabo en el marco del desarrollo de un modelo de distribución logística para el departamento del Magdalena en la modalidad de transporte terrestre. El artículo presenta una estrategia para minimizar costos de distribución de computadores importados desde el puerto de Santa Marta a los 29 municipios del Departamento. El principio de competencia en el mercado portuario es analizado y se estudia la relación interactiva entre la autoridad portuaria, el transportista y las condiciones asociadas a la entrega. De acuerdo con los comportamientos del transporte de mercancías, se establecen los objetivos de optimización. Bajo un entorno de simulación, se presentan los resultados de un modelo en donde el costo del área de servicio sea mínimo, cumpliendo con los requisitos del cliente dentro del potencial técnico y económico de los proveedores de servicios logísticos.

**Palabras clave:** Logística de electrónica, modelo logístico, optimización heurística, transporte portuario.

---

**Autor para correspondencia:**

\*Correo electrónico: jgomez@unimagdalena.edu.co



## Abstract

---

Online shopping, especially in the event of a pandemic, has forced the importation and therefore the transport of many products in the real world. Research in logistics has increased and one of the topics of greatest interest is the planning of logistics routes with minimization of costs. Although several previous studies have discussed some problems of classic routes, real logistical limitations such as vehicle capacity, number of vehicles available per day, storage, travel time on tertiary roads, etc. are not considered. This article presents the results of the research carried out within the framework of the development of a logistics distribution model for the department of Magdalena in the modality of land transport. The article presents a strategy to minimize the distribution costs of imported computers from the port of Santa Marta to the 29 municipalities of the Department. The principle of competition in the port market is analyzed and the interactive relationship between the port authority, the carrier and the conditions associated with delivery is studied. In accordance with the behavior of freight transport, optimization objectives are established. Under a simulation environment, the results of a model are presented where the cost of the service area is minimal, complying with the client's requirements within the technical and economic potential of the logistics service providers.

**Keywords:** Electronics logistics, logistics model, heuristic optimization, port transport.

## Introducción

Los puertos marítimos presentan cada vez más, un rol creciente y de gran importancia en el sistema de transporte internacional dada la integración de la economía mundial [1][2][3]. Recientemente, ha surgido la necesidad de realizar pedidos en línea debido a los horarios y condiciones de bioseguridad adoptados, desde políticas nacionales hasta del orden municipal por razones de pandemia [4]. A su vez, esto ha provocado un incremento en el número de transacciones electrónicas y, por ende, de sitios web que ofertan sus productos. Se ha evidenciado un cambio en el comportamiento y costumbre de compra, tendiendo al método online como preferencia. Esto ha provocado un estado sin precedentes en el área logística dada la necesidad de entregar una gran cantidad de productos a los consumidores correspondientes en cualquier momento y lugar. Estos efectos han generado que las investigaciones sobre temas relacionados con la logística aumenten el interés tanto en la industria como en el mundo académico [5][6]. En las temáticas con mayor citación y relevancia, se presenta la planificación de rutas logísticas.

Aunque estos estudios han discutido algunos problemas de rutas clásicas, las circunstancias de los puertos y de los países no son iguales, en donde no se toman en cuenta limitaciones logísticas reales como la capacidad del vehículo, número de vehículos disponibles por día, almacenamiento, tiempo de recorrido por vías terciarias, etc. muy propias de nuestro entorno específico [7].

El establecimiento de rutas es un problema de planificación bien conocido para múltiples destinos [8]. El objetivo es encontrar la ruta más corta para que un servicio de transporte de baja capacidad realice una entrega, entregue toda su capacidad de transporte en un día y regrese al lugar de inicio. Es natural que el problema de planificación de rutas logísticas bajo estas premisas sea de baja demanda porque el volumen total de mercancías entregadas generalmente excede mucho la capacidad del vehículo.

La aplicación del sistema tradicional de entrega a los distribuidores de gran escala está dominada por la oferta[9]. Los grandes productores entregan directamente al destinatario desde la fábrica por acuerdos con gigantes empresarios logísticos ya que el fabricante participa directa y exclusivamente

en la venta de bienes [10]. La renovación en la estructura macroeconómica y la necesidad de nuevos mercados obligan a nuevos, pequeños y medianos agentes logísticos a participar en el proceso de distribución. Estos agentes pueden ser centros logísticos, centros de distribución, almacenes, etc. Para efectos de esta investigación, se estima el modelo de distribución indirecta.

En este artículo, proponemos una solución basada en la optimización heurística para resolver el problema de la planificación de rutas logísticas desde un puerto marítimo con recepción y entrega, buscando que el costo sea lo más bajo posible. Para llegar a estos resultados, primero se realiza una revisión al estado del arte de los principales modelos actuales para generar rutas logísticas. Luego, se extraen las variables de operaciones para decidir cómo asignar mercancías a los vehículos.

## **Materiales y métodos**

### ***Trabajos relacionados con la logística portuaria***

Debido a que la planificación de rutas logísticas es un problema heurístico, cómo encontrar las rutas logísticas aproximadas dentro de un tiempo de búsqueda aceptable es un tema importante [11]. De forma clásica se han propuesto estudios recientes empleando algoritmos evolutivos (EA), el algoritmo genético y la optimización de colonias de hormigas.

### ***Algoritmos evolutivos***

Típicamente, se han empleado como medio de distribución, camiones para el transporte de mercancías. Esta ruta consta desde un punto origen que es considerado el sitio de almacenamiento o depósito hasta el destino final donde los clientes reciben. Uno de los métodos más empleados para atacar este

problema de transporte, se conoce como el problema del vendedor ambulante (Street Vendor Problem, TSP) [12].

TSP trata de determinar la ruta de distribución óptima, en la que un vendedor inicia desde un punto central, por ejemplo, desde su casa [13]. Posteriormente, visita un conjunto determinado de lugares y retorna al punto de partida. Así, este método advierte que los vendedores deben tomar primero los puntos más cercanos desde el principio. A pesar de esto, el vecino más cercano no significa necesariamente la mejor solución y no ende, algorítmicamente no presenta una ponderación.

Por las complejidades del caso en cuestión, el problema del vendedor ambulante es una de las plataformas de más uso para verificar el desempeño de todo tipo de algoritmos [14]. Las posibles opciones de rutas crecen exponencialmente con el número de puntos a visitar. Esto provoca que, a mayor número de puntos, más aumenta el grado de complejidad de la situación y tiende a convertirse en soluciones inviables. Por lo tanto, la programación de operaciones, como el problema del vendedor ambulante, contribuye a un resultado ideal, cuando se utilizan recursos como la eficiencia de la cadena de suministro y la satisfacción del cliente.

### ***Problema de generación de rutas para vehículos***

Un problema clásico de optimización combinatoria es problema de enrutamiento del vehículo (Vehicle Routing Problem, VRP) [15]. A medida que ha crecido la industria de la logística moderna, se ha hecho indispensable aplicar cierto grado de inteligencia a la logística clásica [16]. Desde que Dantzig & Ramser expusieron este planteamiento con gran precisión [13], con alto grado de aceptación se han

propuesto teorías y aplicaciones en el mundo académico. Así, algunas bifurcaciones desde el planteamiento inicial, las variantes de este problema han logrado muchos resultados. Estos planteamientos se basan en la distribución logística real de los académicos que agregaron más restricciones para que los resultados de la investigación se puedan aplicar mejor a la producción real.

Los planteamientos de VRP, como el problema de generación de rutas de vehículos con ventanas de tiempo y restricciones de objetivos múltiples, presenta las limitaciones de las ventanas de tiempo del cliente, la satisfacción del cliente, el costo de entrega, etc [17]. Este modelado está orientado a que el cliente debe estar satisfecho como lo más prioritario. Dadas las condiciones generales de calidad y precio, la competencia del mundo real comercial está más alineado con la realidad productiva de la distribución logística.

En este tipo de procesos con distribución logística real, es necesario tomar en cuenta no solo la incertidumbre del tiempo de viaje del transporte de carga en el proceso de distribución, sino también cómo ahorrar el costo de distribución en la mayor medida sobre la base de satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Desde este aspecto, aparecen condiciones heurísticas que proponen un método multi-objetivo con limitaciones de las ventanas de tiempo grises [18]. Estas ventanas de tiempo grises son procesadas en proporción con el método de estimación por debajo del nivel de confianza del 95% [19]. Así, en la satisfacción y el control de costos de distribución, es planteada la función gradiente difuso de satisfacción del cliente para proponer múltiples umbrales de satisfacción de acuerdo con la clasificación del cliente. Adicionalmente, el conjunto de soluciones de Pareto se obtiene de diferentes ejemplos de acuerdo con el umbral.

### **Algoritmos genéticos**

Los algoritmos genéticos (*Genetic algorithm, GA*) están basados en los principios de la evolución y la selección natural biológica [20]. Siendo una de las mejores alternativas para la gran cantidad de datos de entrada, dentro de las técnicas de Computación Evolutiva, los algoritmos genéticos han destacado y presentan soluciones exitosas en problemas de optimización combinatorial.

Las funciones de optimización basados en algoritmos genéticos presentan gran pertinencia en una amplia gama de problemas complejos. Según su descripción, en primer lugar, se necesita una representación de la solución. Los algoritmos genéticos requieren de un conjunto de parámetros naturales de la optimización. Al igual que la información genética, para ser decodificado como una cadena de longitud finita extensa, sobre algún alfabeto finito. La elección de la representación repercute en el rendimiento de un optimizador de funciones basado en algoritmos genéticos. Durante los últimos años, se han utilizado varios métodos de codificación para problemas específicos que proporcionan una implementación eficaz. Una de las representaciones más fuertes es la representación basada en árboles para solucionar problemas de red.

Estas largas cadenas presentan tres formas de solución. La primera es la codificación basada en bordes, le sigue la codificación basada en vértices y, finalmente, la codificación de bordes y vértices [21]. Michalewicz y col. (1991) [13] fue el pionero en emplear algoritmos genéticos para solucionar problemas de logística de transporte con distribución lineal y no lineal. En esta aplicación, la representación es sencilla, pero es necesario un cruce y una mutación de operadores especiales acceder a soluciones viables.

Gen y Cheng (1997, 2000) [15] usaron el árbol de expansión para resolver algunos problemas de red. Sus resultados indicaron que un algoritmo genético para un problema de transporte en dos etapas que utiliza codificación basada en prioridades el número de Prüfer es adecuado para codificar un árbol de expansión [22]. Además, en algunos campos de investigación, es la mayor metodología de desarrollo de problemas de transporte aplicando árbol de expansión mínimo.

De las soluciones más empleadas para resolver problemas heurísticos es la optimización de colonias de hormigas (ACO), que consiste en actividades iterativas y probabilísticas [23]. La metodología ACO puede ser adecuada para problemas de planificación de rutas logísticas al tratarse las rutas de las hormigas como rutas logísticas. La simplicidad del modelo ACO se ha aplicado para resolver el problema de planificación de rutas logísticas, cuando se centra en la entrega de mercancías a los clientes. Esto presenta dos frentes de acción a ser atendidos. El primero, contrario a la logística de entrega simple, la nueva logística con recogida y entrega necesita considerar adicionalmente si el vehículo tiene suficiente espacio para recoger las mercancías de los clientes. El segundo, pero no menos importante, los comportamientos de viaje de las hormigas en ACO se basan en la feromona de la red logística. Para este análisis, la feromona está relacionada con la distancia total de ruta de cada vehículo. Sin embargo, no se toma en cuenta las condiciones topográficas del ambiente logístico. Esto desmejora la planificación de la ruta.

## Resultados y discusión

Aplicando las mencionadas teorías, es necesario definir las condiciones heurísticas. Para ello, se presenta la descripción de

problema-tipo a resolver.

Para la formulación de un proyecto de base tecnológica para la Universidad del Magdalena, a la entidad (FUNPDETER), han asignado la tarea de distribuir diez (10) computadores portátiles, a cada uno de los veintinueve (29) municipios del Departamento del Magdalena. Esta distribución se realiza desde el Distrito de Santa Marta. Para esta labor se han asignado recursos económicos específicos por una cuantía de cien mil pesos (\$100.000) por la distribución de cada computador portátil, independientemente del municipio de entrega y evidentemente, su distancia a la ciudad capital departamental.

Desde Santa Marta al municipio más cercano del Magdalena hay cuarenta kilómetros (40 Km) de distancia y 40 minutos en tiempo de desplazamiento. De otra parte, al municipio más lejano hay trescientos kilómetros (300 Km) de carretera y seis (6) horas en tiempo de viaje, aproximadamente. Con estos datos se ha estimado que con un solo vehículo de transporte es posible hacer la entrega de los dispositivos en dos (2) municipios por día.

Debido a la capacidad de almacenamiento en el vehículo, que es de máximo 20 portátiles; por día se incurre en unos costos de \$300.000. Este mismo costo lo tiene por alquiler de vehículo, de una flota de 5 transportes de carga ligera que están a disposición para esta labor. En esta situación, el costo presentado por día es con todo los costos fijos y variables incluidos (alquiler, combustible y conductor),

El bodegaje en la ciudad de Santa Marta no depende de la cantidad de equipos almacenados y se tasa por días. Cada día de almacenamiento de los equipos tiene un precio de cien mil pesos (\$100.000). De otra parte, se deben tomar en cuenta un cargo por términos administrativos, relacionados con la contratación con entidades públicas.

En esta evaluación, para la Universidad del Magdalena asciende al veinte por ciento (20%) por conceptos de estampillas y retención en la fuente.

Bajo estos paradigmas, se plantea como objetivo del problema optimizar los costos generados por distribuir doscientos noventa (290) dispositivos electrónicos (portátiles) desde Santa Marta hacia los veintinueve (29) municipios del Departamento del Magdalena. Así, procedemos a modelar la propuesta como un problema de optimización heurística utilizando herramientas analíticas y computacionales, como Matlab y GAMS.

### *Parametrización*

Con el fin de obtener el conjunto de soluciones, es decir rutas posibles, pero no necesariamente sean las mejores elecciones, tenderíamos a un problema de TSP, creciente de forma de exponencial en términos de las necesidades expuestas. La respuesta natural a este planteamiento en estas condiciones es que resulta inviables la implantación de una solución óptima en relación con el consumo computacional en razón al crecimiento polinomial. Así, es donde se fortalece una aproximación basada heurística para que la implementación práctica sea real. Diferente a las metodologías tradicionales, la implementación heurística abarca una buena solución que tiende a ser buena pero no la mejor, si se consideran todas las opciones.

En contraposición a los métodos exactos, que proporcionan una solución óptima al problema, los métodos heurísticos se limitan a entregar una buena solución pero que no es necesariamente la más adecuada.

En concordancia con el planteamiento se asocian las siguientes variables con los siguientes parámetros:

$n_m=29$ : número de municipios

$p_m=10$ : portátiles por municipio

$n_p=290$ : número total de portátiles

$r_e=\$100.000$ : recursos económicos por portátil

$c_{ap}=20$ : capacidad de almacenamiento máxima por vehículo

$n_{cmax}=5$ : número de carros de transporte disponibles

$c_c=\$300.000$ : costos de alquiler de carro por día

$c_a=\$100.000$ : costos de almacenamiento por día

$c_{adm}=20\%$ : costos administrativos

**Variables de diseño**

$d_{op}$ : días de operación

$n_c$ : número de carros a utilizar

**Función objetivo**

$$Z = \min[(c_a * d_{op}) + (c_c * n_c * d_{op}) + (c_{adm} * n_p * r_e)]$$

$$Z = \min[(100000 * d_{op}) + (300000 * n_c * d_{op}) + (5800000)]$$

**Ecuaciones de restricción**

$$(c_a * d_{op}) + (c_c * n_c * d_{op}) + (c_{adm} * n_p * r_e) \leq n_p * r_e (29000000)$$

$$n_c \leq 5$$

$$n_c \geq 1$$

$$n_c * d_{op} \geq n_p / c_{ap} (14.5)$$

(14.5) se aproxima a 15 debido a que el número de carros debe ser entero y su alquiler se realiza por días enteros.

**Solución del problema sin optimizar**

En un posible cálculo para establecer una ruta usando un modelo general, el resultado sería:

Si  $n_c=1$ ; Para que se cumplan las restricciones  $d_{op}=15$

$$Z = \min[(100000 * (15)) + (300000 * (1) * (15)) + (5800000)]$$

$$Z = \$11.800.000$$

De otra parte, aplicando la heurística se obtiene una minimización. Se contrasta los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones de optimización en otro software, arrojando los mismos resultados.

\$title Solución del problema de optimización con programación no lineal en GAMS

**parameters**

```

np      /290/
re      /100000/
cc      /300000/
ca      /100000/
cad     /0.2/
;
```

**positive variables**

```
nc    Número de carros a utilizar
dop   Número de días de operación
;
```

**variable**

```
z     Funcion de costo
;
```

**equations**

```
eq_costo           Ecuación asociada a la función de costo
eq_presupuesto     Ecuación asociada al máximo presupuesto
eq_carros5         Ecuación asociada al máximo número de carros
eq_carros1         Ecuación asociada al mínimo número de carros
eq_carros2         Ecuación asociada a la capacidad de los carros
;
```

```
eq_costo..        z =e= ca*dop + cc*nc*dop + cad*np*re;
eq_presupuesto..  ca*dop + cc*nc*dop + cad*np*re != np*re;
eq_carros5..      nc != 5;
eq_carros1..      nc =g= 1;
eq_carros2..      nc*dop =g= 15;
```

```
model project /all/;
```

```
solve project using qcp minimizing z;
```

```
display nc.l,dop.l,z.l;
```

```
---- 38 VARIABLE nc.L          = 5.000 Número de carros a utilizar
      VARIABLE dop.L          = 3.000 Número de días de operación
      VARIABLE z.L            = 1.060000E+7 Función de costo
```

```
% % Solución del problema de optimización con programación no lineal en MATLAB
```

```
% Creando una función de restricciones
```

```
% x(1) = dop
```

```
% x(2) = nc
```

```
function [c,ceq] = restricciones(x)
```

```
c(1) = 100000*x(1) + 300000*x(1)*x(2) + 5800000 - 29000000;
```

```
c(2) = x(2)-5;
```

```
c(3) = -x(2)+1;
```

```
c(4) = -x(2)*x(1)+15;
```

```
ceq = [ ];
```



```
% Luego calculando en un Script el mínimo valor de la función de costo  
% que cumpla con las restricciones
```

```
options = optimoptions ('fmincon','Display','iter','Algorithm','interior-point');  
fun = @(x)100000*x(1) + 300000*x(1)*x(2) + 5800000;  
nonlcon = @restricciones;  
x0 = [1,15];  
x = fmincon(fun,x0,[],[],[],[],[],[],nonlcon,options)
```

```
>> ProjectOp
```

Iter	F-count	f(x)	Feasibility	First-order optimality	Norm of step
0	3	1.040000e+07	1.000e+01	2.213e+02	
1	6	8.539861e+06	6.419e+00	6.549e+04	9.834e+00
2	9	8.779538e+06	5.670e+00	6.433e+04	1.533e-01
3	12	1.053851e+07	1.922e-01	1.224e+04	.168e+00
4	15	1.059981e+07	5.810e-04	3.345e+02	3.832e-02
5	18	1.060000e+07	1.540e-06	1.976e+00	1.158e-04
6	21	1.060000e+07	5.701e-10	8.319e-02	3.061e-07

```
x =
```

```
3.0000 5.0000
```

### *Solución del problema de optimización*

```
n_c =5;  
d_op=3;
```

```
Z=min[(100000*(3))+(300000*(5)*(3))+(5800000)]
```

```
Z=$10.600.000
```

### **Conclusiones**

Los modelos de transporte tradicionales no toman en cuenta la heurística de un modelo de optimización para problemas abiertos; generalmente, establecen procedimientos que excluyen casos particulares y que hacen tender al infinito las posibles soluciones, creando inviábiles modelos.

Al utilizar herramientas de programación lineal, no lineales y mixtas, se contribuye a los problemas del transporte, al determinar las cantidades que deben enviarse desde un origen a diferentes destinos, minimizando

los costos de envío; estas herramientas permiten identificar y admitir que existen soluciones óptimas con un mismo costo óptimo asociado.

Optimizar costos basados en la generalización en métodos numéricos permite encontrar soluciones óptimas, inclusive en problemas restringidos que pueden convertirse en problemas sin restricciones, analizando correctamente el conjunto factible, es decir, verificando el campo de soluciones que confirman las restricciones, para así expresar

los problemas del mundo real como problemas de optimización y utilizar correctamente estos métodos para la toma de decisiones.

## Referencias

- [1] P. A. Tu, N. T. Dat and P. Q. Dung, "Traveling Salesman Problem with Multiple Drones", en *Proceedings of the Ninth International Symposium on Information and Communication Technology - SoICT 2018*, Danang City, Viet Nam, 2018, pp. 46-53. doi: 10.1145/3287921.3287932
- [2] V. Burkhovetskiy y B. Steinberg, "An exact parallel algorithm for traveling salesman problem", en *Proceedings of the 13th Central & Eastern European Software Engineering Conference in Russia, St. Petersburg Russia*, oct. 2017, pp. 1-5. doi: 10.1145/3166094.3166108
- [3] T. Butko et al., "Organization of railway freight short-haul transportation on the basis of logistic approaches", *Procedia Computer Science*. vol. 149, pp. 102–109, 2019
- [4] V. Burkhovetskiy y B. Steinberg, "An exact parallel algorithm for traveling salesman problem", en *Proceedings of the 13th Central & Eastern European Software Engineering Conference in Russia, St. Petersburg Russia*, oct. 2017, pp. 1-5. doi: 10.1145/3166094.3166108
- [5] A. Aloui, N. Hamani, y L. Delahoche, "An integrated optimization approach using a collaborative strategy for sustainable cities freight transportation: A Case study", *Sustain. Cities Soc.*, vol. 75, p. 103331, dic. 2021, doi: 10.1016/j.scs.2021.103331
- [6] W. Ho P. and P. Ji, "A genetic algorithm to optimise the component placement process in PCB assembly", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 26, no. 11, pp. 1397-1401, 2005
- [7] W. Ho y P. Ji, "A genetic algorithm for the generalised transportation problem", *Int. J. Comput. Appl. Technol.*, vol. 22, n.o 4, p. 190, 2005, doi: 10.1504/IJCAT.2005.006959
- [8] M. Gen, F. Altiparmak, y L. Lin, "A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding", *Spectr.*, vol. 28, n.o 3, pp. 337-354, jul. 2006, doi: 10.1007/s00291-005-0029-9
- [9] W. Suárez-Gómez and J. Ayala-Cruz, "El cabotaje marítimo en la cadena de suministros agrícola de Puerto Rico", *Estudios Gerenciales*, vol. 32, no. 140, 250-261, 2016
- [10] C. M. Argueta, M. D. P. E. A. López J. G. Iniestra, "Un enfoque multicriterio para el diseño de una red para el transporte de embarques internacionales", *Contaduría y administración*, vol. 59, no. 4, 193-221, 2014
- [11] E. Castiilo, A. Conejo, P. Pedregal, y N. Alguacil, *Formulación y resolución de problemas de matemática en ingeniería y ciencia*. 2002
- [12] K. Shi, H. Zhang, Z. Zhang, y X. Zhou, "The Algorithm of Terminal Logistics Path Planning Based on TSP Problem", en *2020 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Engineering (ICAICE), Beijing, China*, oct. 2020, pp. 130-133. doi: 10.1109/ICAICE51518.2020.00031
- [13] A. A. Mousa, "Using genetic algorithm and TOPSIS technique for multiobjective transportation problem: a hybrid

- approach", *Int. J. Comput. Math.*, vol. 87, n.o 13, pp. 3017-3029, oct. 2010, doi: 10.1080/00207160902875262
- [14] J. S. Rojas Amaya, "Elementos para la integración de sistemas de gestión y su importancia en la cadena productiva del transporte de carga terrestre en Colombia", *Suma de negocios*, vol. 5, no. 12, pp. 136-142, 2014
- [15] D. Guimaraes Macharet, A. Alves Neto, V. Fiuza da Camara Neto, y M. Montenegro Campos, "An evolutionary approach for the dubins' traveling salesman problem with neighborhoods", en *Proceedings of the fourteenth international conference on Genetic and evolutionary computation conference - GECCO '12*, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2012, p. 377. doi: 10.1145/2330163.2330218
- [16] K. A. Akshyonov, E. A. Bykov, E. F. Smoliy, O. P. Akshyonova and A. L. Nevolina, "Application of decision support system BPsim", *DSS to Logistical Processes of Fuel Transportation Company. IFAC Proceedings*, vol. 46, no. 9, pp. 648-652, 2013
- [17] A. Osmani and J. Zhang, "Optimal grid design and logistic planning for wind and biomass based renewable electricity supply chains under uncertainties", *Energy*, vol. 70, pp. 514-528, 2014
- [18] K. Antony Arokia Durai Raj y C. Rajendran, "A genetic algorithm for solving the fixed-charge transportation model: Two-stage problem", *Comput. Oper. Res.*, vol. 39, n.o 9, pp. 2016-2032, sep. 2012, doi: 10.1016/j.cor.2011.09.020
- [19] G. O. Ivanov, N. E. Oputin, P. N. Ignatiev, y A. A. Utin, "A Method for Solving a Transport Problem by the Criterion of Time in MS Excel Based on Optimization of a Linear Objective Function of Time", en *2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, St. Petersburg, Moscow, Russia, ene. 2021, pp. 912-916. doi: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396115
- [20] E. Hsueh-Chan Lu, Ya-Wen Yang, y Zeal Li-Tse Su, "2Ant Colony Optimization solutions for logistic route planning with pick-up and delivery2", en *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Budapest, Hungary, oct. 2016, pp. 000808-000813. doi: 10.1109/SMC.2016.7844340
- [21] Pragya, M. Dutta, y Pratyush, "TSP Solution Using Dimensional Ant Colony Optimization", en *2015 Fifth International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies*, Haryana, India, feb. 2015, pp. 506-512. doi: 10.1109/ACCT.2015.61
- [22] Y. Chen y J. Karlsson, "State Tracking of Linear Ensembles via Optimal Mass Transport", *IEEE Control Syst. Lett.*, vol. 2, n.o 2, pp. 260-265, abr. 2018, doi: 10.1109/LCSYS.2018.2827001
- [23] J. G. de S. Machado, S. Gomes, y T. J. M. A. Parreiras, "Linear analysis of systems containing transport delays", en *2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE)*, Niteroi, may 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/SBSE.2018.8395797