

Propuesta metodológica para el diseño de flotas de transporte desde el enfoque del problema de ruteo de vehículos

Methodological proposal for the design of transport fleets from the approach of the vehicle routing problem

Fecha de recepción: 2022-11-29 • Fecha de aceptación: 2023-02-16 • Fecha de publicación: 2023-06-10

Mauricio Alberto Mora Castellanos¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

mauricio.mora@4tech.com.co

<https://orcid.org/0000-0001-8298-4450>

Cristopher Alberto Tinajero Naranjo²

Universidad Jaume I, España

tinajero@uji.es

<https://orcid.org/0000-0002-8093-5863>

Mayra Ximena Cevallos Andrade³

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

mayracevallos@cermosa.com.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3082-5834>

RESUMEN

Una flota de transporte debe brindar un servicio de calidad, eficiente y puntual; esto, en función de que el cliente obtenga la seguridad de que está tratando con una empresa seria, con la que sea factible establecer una relación de fidelidad y duradera. De tal manera, se concibe de suma importancia el diseño óptimo de la flota de transporte, cuya estructura considere las rutas potenciales y los requerimientos de cada organización. En vista a aportar con lo antes expuesto, el presente

proyecto consiste en el diseño y evaluación de un modelo metodológico para el diseño de flotas de transporte, tomando como herramienta técnica la optimización de rutas mediante el algoritmo de Clark & Wright. Validando la metodología propuesta mediante el diseño de una flota de transporte para la empresa ecuatoriana líder en la producción de revestimientos cerámicos, los cuales, son distribuidos a nivel nacional e internacional, la cual, por cuestiones de confidencialidad se denominará “ABCD”. Los resultados mostraron un diseño eficiente y rentable para la organización, proporcionando a ella, no solo la estructura necesaria para dejar de lado la tercerización del servicio de transporte, sino, una herramienta que permita su gestión y toma de decisiones.

PALABRAS CLAVE: algoritmo, transporte por carretera, planificación del transporte, ruta comercial, economía del transporte, ruta comercial

ABSTRACT

A transport fleet must provide a quality, efficient and punctual service, this depending on the customer obtaining the assurance that he is dealing with a serious company, with which it is feasible to establish a relationship of loyalty and lasting. In this way, the optimal design of the transport fleet is conceived of paramount importance, whose structure considers the potential routes and requirements of each organization. In order to contribute to the above, this project consists of the design and evaluation of a methodological model for the design of transport fleets, taking as a technical tool the optimization of routes through the Clark & Wright algorithm. Validating the proposed methodology through the design of a transport fleet for the leading Ecuadorian company in the production of ceramic coatings, which are distributed nationally and internationally, which, for reasons of confidentiality will be called “ABCD”. The results showed an efficient and profitable design for the organization, providing it not only with the necessary structure to set aside the outsourcing of the transport service, but also a tool that allows its management and decision making.

KEYWORDS: algorithm, road transport, transport planning, trade route, transport economics, trade route

Introducción

Debido a la recesión económica presentada desde el año 2014, el mundo y sobre todo las grandes organizaciones, se han visto en la obligación de reformular procedimientos y/o proyecciones de cambio (Ramos et al., 2016). De esta manera, las compañías que pertenecen al sector del consumo masivo tienen la necesidad de estar a la vanguardia y diseñar estrategias que logren diferenciarlas entre sus competidores, identificando para esto los requerimientos del cliente mucho antes de que estos sean evidentes, además de plantear y ejecutar sus estrategias sin dudar, premeditando las potenciales consecuencias y tomando las decisiones que permitan disminuir las fallas y maximizar sus objetivos, los cuales, no deben alejarse de: la permanencia, la credibilidad y el liderazgo en el mercado.

De esta manera, es necesario considerar a la satisfacción del cliente como un requerimiento indispensable y necesario para el éxito empresarial. Dicha satisfacción, está directamente relacionada con la valoración del cliente hacia el servicio, fundamentado en su propia percepción. La caracterización de este aspecto da lugar a lo que se entiende por “calidad”, la cual, es la calidad percibida por el cliente (Ninikas et al., 2019).

El servicio al cliente, hoy en día representa una actividad rectora en cuanto la planeación logística para cualquier empresa. El mismo constituye el punto de inicio para el diseño y desarrollo del resto de actividades del proceso de planeación (Costa y Castaño, 2015). La meta fundamental de una empresa siempre está enfocada en proporcionar bienes o servicios a un cliente en particular. No obstante, ningún producto o servicio posee una utilidad real si este no está en posesión del cliente. De esta forma, las disposiciones de Enrutamiento de Vehículos (EV) resultan el principal tópico de atención para cumplir tales objetivos.

Es así que, dentro de la competitividad de las empresas, se reconoce la importancia del traslado de la mercadería, incluyendo los sistemas logísticos o de distribución, cumpliendo con los plazos de tiempo pactados para mantener una credibilidad de la compañía y contribuyendo en mejorar la imagen empresarial (Granada, 2018). Existen muchos costos asociados con una entrega tardía, costos que van desde multas o reducción en los pagos, hasta perder un cliente y el consumo generado por él.

Por esta razón, la logística y la administración logística cubren la gestión y planificación de todas las actividades que realizan los departamentos de compras, producción, transporte, almacenaje, manutención y distribución. Administrando materiales, mano de obra, recursos económicos, maquinaria y consumibles con el firme propósito de que el cliente reciba, en tiempo y forma, el producto requerido.

Para con esto, una flota de transporte debe brindar un servicio de calidad, con eficacia y puntualidad. El servicio de entrega, no solo contempla la entrega en perfecto estado de la mercancía, sino también existe la importancia del tiempo en la entrega a un punto nacional fijado de antemano (Henríquez-Fuentes, 2018); de tal manera, que se respete el tiempo ofertado, así como, la hora de recogida. Sin embargo, para alcanzar el funcionamiento óptimo de una flota de transporte, esta debe ser diseñada desde las necesidades de la organización.



En vista a ello, el objetivo del presente trabajo es el proponer un modelo metodológico para el diseño de flotas de transporte, el cual se fundamente en las necesidades de acción al VRP de cualquier organización; considerando a la vez la estacionalidad de la demanda con relación a la respuesta de mercado.

Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se han analizado los métodos óptimos que correspondan a la naturaleza y las necesidades de la propuesta, entre los cuales se encuentran los métodos inductivo y deductivo.

El método inductivo se refiere al razonamiento que posibilita obtener conclusiones generales a partir de hechos particulares. Este fue empleado para llevar a cabo una evaluación inicial de la organización logística de la empresa en estudio. El método deductivo por otro lado, se basa en el razonamiento que posibilita establecer predicciones partiendo de lo general para explicar lo particular. Esta parte del problema general, delimita con el mismo los elementos que permitan la consecución de los objetivos. Es decir, el desarrollo y evaluación de la propuesta de diseño de flotas de transporte.

Se empleó un enfoque de carácter mixto, utilizando métodos de análisis de tipo cualitativos y cuantitativos. Cualitativos, en cuanto a la obtención de información e identificación de variables de estudio, empleando para esto fichas de observación, matrices de control y entrevistas implementadas en la empresa en estudio. Cuantitativos ya que se pretende el análisis de los beneficios económicos que conlleva la implementación de la propuesta metodológica, además de la optimización de rutas mediante el algoritmo de Clark & Wright.

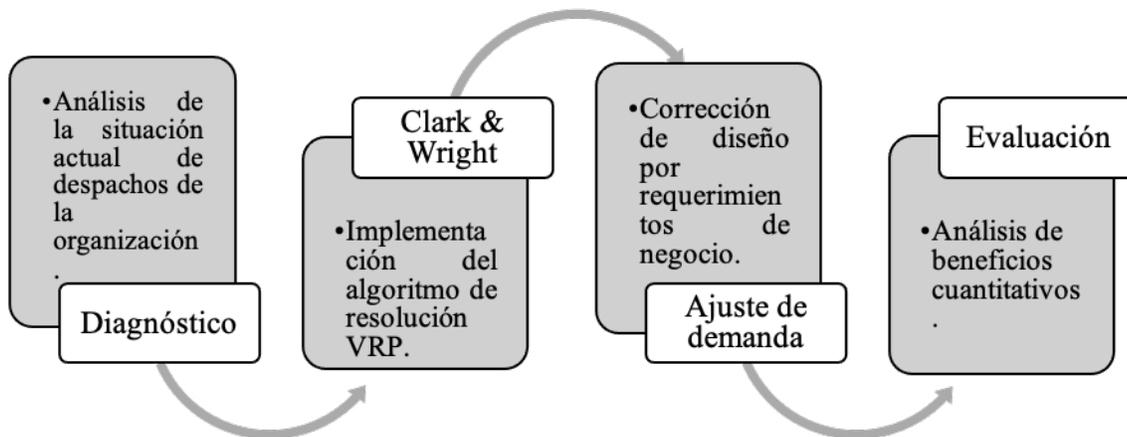
Asimismo, el proyecto se define en tres ejes de investigación de acuerdo a su alcance, es decir, es correlacional, explicativo y descriptivo. Es correlacional, ya que se delimitan las variables relacionadas con los problemas logísticos y la gestión del transporte en la empresa. Es explicativo, ya que expone la problemática de la empresa en la cadena de suministros y sus potenciales alternativas de solución. Es descriptivo, ya que desarrolla una propuesta de implementación en respuesta a la problemática planteada y su correspondiente proyección financiera.

Para esto, se estudió el sistema logístico en la cadena de suministros en la empresa ecuatoriana dedicada a la producción de revestimientos cerámicos, a la cual se denominará "ABCD", razón por lo cual, la unidad de análisis será su área de logística, dado que esta corresponde al ámbito en donde se gestionan las variables seleccionadas para la propuesta de diseño.

De tal manera, se propone un modelo metodológico (*Figura 1*) para el diseño óptimo de flotas de transporte, conformado por cuatro fases: diagnóstico inicial, implementación del algoritmo de resolución del VRP, optimización de flotas de transporte por demanda y evaluación de beneficios cuantitativos.

Figura 1

Esquema del Modelo Metodológico Propuesto para el Diseño de Flotas de Transporte



Nota. Adaptación con base en el proyecto de investigación (Cevallos, 2021).

2.1 Contexto de la aplicación

En función de llevar a cabo la comprobación del modelo metodológico propuesto, se procedió en el 2021 a su implementación en la empresa ecuatoriana líder en la producción de revestimientos cerámicos “ABCD”, ubicada en la ciudad de Riobamba, Ecuador. De tal forma, se pretende proporcionar a la organización una alternativa que incremente la rentabilidad y eficiencia en sus servicios logísticos; esto en calidad de suplantar la tercerización empleada en su servicio de distribución.

Para ello se planteó la siguiente hipótesis: la propuesta de implementación de una flota de transporte propia para la empresa ABCD - Riobamba proporciona una alternativa que incremente la rentabilidad y eficiencia en sus servicios logísticos. Por tal razón, el objetivo del presente caso de estudio fue el diseño óptimo de una flota de transporte en respuesta a las necesidades propias de la organización.

De tal manera, a continuación, se describe el modelo metodológico propuesto para el diseño óptimo de flotas de transporte.

2.2 Diagnóstico situacional

En la primera etapa de diagnóstico situacional resulta fundamental el llevar a cabo una caracterización documental de la organización, tomando en cuenta para esto los siguientes parámetros:

- a. Activos en el área de logística; su delimitación posibilitará caracterizar y evaluar las capacidades de despacho de la organización. Para esto, es fundamental detallar la infraestructura, equipos y recursos humanos a disposición del área logística.
- b. Clasificación de pedidos; este parámetro consta en identificar las subcategorías presentes en el proceso de distribución. Por ejemplo, en el caso de la empresa ABCD, los pedidos se clasifican en: primera, segunda y tercera calidad, los cuales, constan de diferentes clientes y canales de distribución. De esta manera, la información recolectada en este punto posibilitará la delimitación de los pedidos a considerar como cargas potenciales para la flota de transporte a diseñar.
- c. Gestión del transporte de producto terminado; en este parámetro es fundamental el identificar tanto las políticas internas como externas en cuanto a la gestión y traslado de mercancías. Esto posibilitará establecer las bases para la gestión de la flota de transporte a diseñar en la organización.
- d. Tiempo de entrega; uno de los parámetros a considerar en la resolución del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) es el tiempo de entrega estimado para las rutas a diseñar, dicho parámetro está directamente relacionado con el recorrido máximo posible para cada ruta, lo cual representa un factor clave para el diseño y selección de vehículos para la flota de transporte. Por ejemplo, en el caso de la empresa en estudio, se delimitó un promedio de 48 horas para la entrega de mercancías.
- e. Análisis de carga, la caracterización y registro histórico de carga de la organización, al igual que el tiempo de entrega, consiste en uno de los factores fundamentales para el diseño de la flota de transporte. Este permite la identificación de necesidades de carga y la posterior selección de capacidades de transporte. En el caso de la empresa ABCD, se seleccionaron tres tipos de capacidades para los vehículos de carga, las cuales fueron: 3234, 5225 y 8215 kilogramos, esto con relación a los modelos de vehículos HD55, HD78 y HD120 en la marca Hyundai. De tal manera, este parámetro posibilitará establecer las bases de optimización de carga a utilizar en el diseño de rutas.
- f. Zonas de distribución; este apartado representa el inicio del diseño y optimización de rutas, para lo cual resulta clave la identificación de territorios o zonas de distribución con sus respectivos puntos de entrega, los que deberán contar con su respectiva geolocalización. Asimismo, en este parámetro es clave la definición de la demanda distribuida por territorios y puntos de entrega. En el caso de la empresa ABCD, se identificaron 5 territorios distribuidos a nivel nacional, los cuales cuentan con: 14, 14, 32, 9 y 10 puntos de entrega, respectivamente.
- g. Dichos parámetros de estudio deben ser recolectados mediante el uso de entrevistas estructuradas y revisión documental, los cuales permitirán conocer los aspectos claves de la empresa en estudio, además de delimitar los factores fundamentales para el desarrollo de la propuesta. Cabe destacar que no existe un formato único para el estudio y recolección de los parámetros planteados anteriormente, sin embargo, cada uno de ellos representa la base estructural para la toma de decisiones empresariales en cuanto a la flota de transporte diseñada.

2.3 Implementación del algoritmo de Clark & Wright

Una vez delimitados los factores relacionados al proceso de distribución en la empresa ABCD, se planteó la construcción de la propuesta de diseño e implementación. Para ello se realizó una delimitación de ruteo mediante el algoritmo de Clark & Wright, considerando para este la demanda zonal previamente delimitada y su relación con el aprovechamiento óptimo de carga.

Asimismo, constituyó una solución alternativa al sistema de transporte terrestre, y proporcionó, a la vez, los factores óptimos para su desarrollo desde el punto de vista logístico. También, con esto se diseñó una flota de transporte en función de las necesidades de ruteo reales de la organización.

El algoritmo de ahorros de Clark & Wright es una de las técnicas más populares en la resolución del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) a través de heurísticas; este consiste en el principio de combinar una solución de dos rutas diferentes para formar una nueva ruta en donde se validen los ahorros (Gutiérrez, 2018). Sin embargo, la presente investigación hará uso de las herramientas ofertadas por el algoritmo para el diseño óptimo de flotas de transporte.

A continuación, se detallan los pasos lógicos utilizados para el diseño de rutas, empleando para esto los fundamentos del algoritmo de Clark & Wright (Cevallos, 2021). Cabe destacar que dichos procesos fueron realizados con el apoyo de la hoja de cálculo en calidad de herramienta digital.

- **Delimitación de la situación inicial de reparto.** El primer paso para el diseño óptimo de rutas es el establecimiento del centro de distribución, los destinos de entrega y su demanda correspondiente, todo esto previamente delimitado en la primera etapa de la presente metodología (Blanco, 2019). A modo de ejemplo, a continuación se expone la situación inicial de reparto para el Territorio I de la empresa ABCD (*Tabla 1*).

Tabla 1*Ejemplificación - Situación inicial de reparto*

Puntos	Nodos	Longitud	Latitud	Demanda
		1	2	3
DC	1	-1,66142	-78,6555	0
D1	2	-0,38129	-78,5045	1939,134
D2	3	-0,09555	-78,4229	1499,3805
D3	4	-0,06382	-78,3513	3588,417
D4	5	0,34647	-78,1305	2670,6345
D5	6	-0,11159	-78,4495	5727,4605
D6	7	-0,23223	-78,338	4148,8035
D7	8	-0,16256	-78,4759	2336,109
D8	9	-1,65802	-78,6659	469,971
D9	10	-0,08849	-78,5102	1285,8435
D10	11	-0,33325	-78,4773	1803,4515
D11	12	-0,1873	-76,6428	1528,887
D12	13	0,056756	-78,2775	1564,5555
D13	14	-0,3018	-76,8577	1867,2045
D14	15	0,339379	-78,209	3790,9335

Nota. La sigla DC representa el centro de distribución y Dn representa los diferentes puntos de entrega de la organización.

Como se evidencia en la *Tabla 1*, tanto los parámetros de longitud, latitud y demanda, así como los puntos de ruteo establecidos, deben ser numerados para su posterior tratamiento. Cabe destacar que la información de geolocalización debe ser lo más precisa posible para alcanzar una mejor aproximación en el diseño de las rutas.

- **Elaboración de la matriz de distancias mínimas.** Como segundo paso se procederá con el cálculo de las distancias mínimas (distancia de una línea recta entre dos puntos) entre los puntos de entrega y el o los centros de distribución; esto mediante la ecuación (López y Puyo, 2018):
- Desarrollando de tal manera, la denominada “Matriz de distancias” en cuanto al algoritmo se trata; dicha matriz es ejemplificada en la *Tabla 2*, en la cual se destaca el cálculo de distancias mínimas entre cada uno de los puntos planteados en la delimitación de la situación inicial de reparto. Cabe denotar que las dimensiones de esta matriz variarán en cuanto al número de centros de distribución y puntos de entrega planteados.
- **Elaboración de la matriz de ahorros.** El siguiente paso, una vez finalizada la matriz de distancias mínimas es el cálculo de los ahorros potenciales por la secuenciación de rutas, considerando el ahorro generado al evitar el despacho individual en dos puntos de entrega diferentes, lo que representa la suma de las distancias del centro de distribución a dos puntos de entrega específicos, menos la distancia en kilómetros entre dichos puntos (Sánchez y Santana, 2019). Esto mediante la ecuación:

En donde:

- Sab, es el ahorro al secuenciar los destinos a y b.
- doa y dob, es la distancia desde el centro de distribución o a los destinos a y b respectivamente.
- dab, es la distancia entre los destinos a y b.

De tal manera, la matriz de ahorro del algoritmo de Clark & Wright posibilita la selección de rutas óptimas, considerando para esto: la maximización de ahorros, la demanda por punto de entrega y el recorrido máximo por ruta. Dicha matriz es ejemplificada en la *Tabla 3*, en la cual, a diferencia de la matriz de distancias (*Tabla 2*) evita el cálculo de secuencias idénticas, es decir, el ahorro calculado para la secuencia de los puntos o nodos 2 y 3, es la misma que para los puntos 3 y 2, por lo tanto, solo se coloca uno de ellos.

Tabla 2

Ejemplificación – Matriz de distancias

	DC	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
DC	1	0,00	128,90	158,31	162,63	207,54	156,35	146,40	150,96	1,09	157,96	134,01	249,48	175,93	225,41	205,00
D1	2	128,90	0,00	29,72	35,25	81,83	27,52	22,35	22,06	128,69	29,29	5,52	187,18	49,34	164,87	77,89
D2	3	158,31	29,72	0,00	7,83	53,00	3,11	16,09	8,54	158,13	8,76	24,38	178,25	21,05	157,87	48,47
D3	4	162,63	35,25	7,83	0,00	46,60	10,92	16,89	15,89	162,49	16,07	29,74	171,30	14,14	151,25	42,76
D4	5	207,54	81,83	53,00	46,60	0,00	55,82	61,48	61,52	207,48	57,74	76,31	158,05	32,49	142,84	7,88
D5	6	156,35	27,52	3,11	10,92	55,82	0,00	16,43	5,74	156,15	6,49	22,34	180,84	24,07	160,32	51,11
D6	7	146,40	22,35	16,09	16,89	61,48	16,43	0,00	15,45	146,30	22,43	17,20	169,58	29,52	148,20	58,60
D7	8	150,96	22,06	8,54	15,89	61,52	5,74	15,45	0,00	150,75	8,16	17,07	183,33	29,57	162,42	56,85
D8	9	1,09	128,69	158,13	162,49	207,48	156,15	146,30	150,75	0,00	157,72	133,81	250,12	175,82	226,03	204,90
D9	10	157,96	29,29	8,76	16,07	57,74	6,49	22,43	8,16	157,72	0,00	24,70	187,00	27,42	166,62	52,32
D10	11	134,01	5,52	24,38	29,74	76,31	22,34	17,20	17,07	133,81	24,70	0,00	184,03	43,82	161,99	72,42
D11	12	249,48	187,18	178,25	171,30	158,05	180,84	169,58	183,33	250,12	187,00	184,03	0,00	165,29	24,35	165,24
D12	13	175,93	49,34	21,05	14,14	32,49	24,07	29,52	29,57	175,82	27,42	43,82	165,29	0,00	146,44	29,08
D13	14	225,41	164,87	157,87	151,25	142,84	160,32	148,20	162,42	226,03	166,62	161,99	24,35	146,44	0,00	149,57
D14	15	205,00	77,89	48,47	42,76	7,88	51,11	58,60	56,85	204,90	52,32	72,42	165,24	29,08	149,57	0,00

Nota. La presenta tabla es la continuación de la situación inicial de reparto presentada en la *Tabla 1*.

Tabla 3*Ejemplificación – Matriz de ahorros*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	-													
3	257,49	-												
4	256,28	313,11	-											
5	254,62	312,85	323,57	-										
6	257,72	311,54	308,05	308,06	-									
7	252,96	288,62	292,14	292,47	286,32	-								
8	257,80	300,72	297,70	296,98	301,57	281,92	-							
9	1,30	1,27	1,23	1,16	1,29	1,20	1,30	-						
10	257,58	307,51	304,52	307,77	307,82	281,94	300,76	1,33	-					
11	257,39	267,93	266,90	265,24	268,01	263,21	267,90	1,29	267,27	-				
12	191,20	229,54	240,81	298,97	224,99	226,31	217,12	0,45	220,45	199,46	-			
13	255,49	313,18	324,42	350,98	308,20	292,81	297,32	1,20	306,46	266,12	260,12	-		
14	189,43	225,84	236,79	290,11	221,43	223,62	213,95	0,47	216,75	197,43	450,54	254,89	-	
15	256,01	314,84	324,87	404,66	310,23	292,81	299,11	1,20	310,64	266,59	289,25	351,85	280,84	-

Nota. La presente tabla es la continuación de la matriz de distancias presentada en la Tabla 2.

- **Ordenamiento de ahorros.** Previo al diseño de rutas por medio del algoritmo de Clark & Wright, es necesario llevar a cabo el ordenamiento vertical de la matriz de ahorros, lo cual posibilitará la correcta selección y descarte de ahorros potenciales para el ensamblado de rutas óptimas (De Andrade, 2018). Este proceso consta en organizar los valores de ahorros obtenidos de mayor a menor considerando las rutas de las cuales proviene el ahorro. En función de ejemplo, a continuación se expone el formato empleado para el ahorro del Territorio I de la empresa ABCD (*Tabla 4*).

Tabla 4

Ejemplificación – Ordenamiento de ahorros

Ordenamiento descendente		Análisis de pares de nodos por iteración					
k	kth mayor	Par de nodos de la iteración k		Demanda total del par de nodos	Recorrido total del par de nodos	¿Es factible acoplar la ruta existente?	Estado
1	450,54	14	12	3396,0915	249,7572943	Si	Ruta 1
2	404,66	15	5	6461,568	212,8855276	No	NA
3	351,85	15	13	5355,489	234,084681	No	NA
4	350,98	13	5	4235,19	208,41701	Si	NA
5	324,87	15	4	7379,3505	247,7624838	No	NA
6	324,42	13	4	5152,9725	190,0638593	No	NA
7	323,57	5	4	6259,0515	254,1379428	No	NA
8	314,84	15	3	5290,314	253,4718573	Si	Ruta 2
9	313,18	13	3	3063,936	196,9798997	No	NA
10	313,11	4	3	5087,7975	170,455763	No	NA
11	312,85	5	3	4170,015	260,5406	No	NA
12	311,54	6	3	7226,841	159,4570188	No	NA
13	310,64	15	10	5076,777	257,3275364	No	NA
14	310,23	15	6	9518,394	256,1158172	No	NA
15	308,20	13	6	7292,016	199,9952536	No	NA
16	308,06	6	5	8398,095	212,1702276	No	NA
17	308,05	6	4	9315,8775	167,2657418	No	NA
18	307,82	10	6	7013,304	164,4490462	Si	Ruta 3
19	307,77	10	5	3956,478	215,700735	No	NA
20	307,51	10	3	2785,224	166,7187357	No	NA

Nota. La presenta tabla es la continuación de la matriz de ahorros presentada en la Tabla 3 y solamente representa el ordenamiento de los 20 primeros ahorros en calidad de ejemplo.

Como se puede evidenciar en la *Tabla 4*, cada ahorro consta del par de nodos que conforma la ruta secuencial, además de la sumatoria de la demanda entre los dos puntos y la distancia recorrida entre ellos. Por ejemplo, el ahorro mayor equivale a “450.54 km” y corresponde a secuenciar los puntos de entrega 14 y 12, considerando para la ruta conformada una demanda de 3396,10 kilogramos y un recorrido de 250 kilómetros (sin considerar el retorno al centro de distribución).

De esta manera, bajo la información planteada en el ordenamiento de ahorros, se iniciará el diseño de rutas partiendo del concepto de ahorro máximo, por lo cual, la primera ruta necesariamente será la ruta que presente el mayor de los ahorros, es decir (para el presente caso), la primera interacción de ruta será: partir del centro de distribución al punto de entrega 14, seguido del punto

12 o viceversa. Posterior a esto, el diseño deberá tener como enfoque principal alcanzar el ahorro máximo, sin dejar de lado la consideración de las variables individuales de la organización.

- **El diseño de rutas.** Finalmente, en función del diseño óptimo de la flota de transporte, se llevó a cabo el diseño de rutas bajo la percepción del aprovechamiento de carga máxima, esto según los vehículos de carga y/o capacidades de carga establecidas en el análisis de carga realizado en el diagnóstico situacional. Esto representa que cada ruta deberá ser diseñada no solo bajo el concepto de ahorro máximo, sino bajo los parámetros de carga y demanda por punto de entrega, lo que posibilita al algoritmo la selección de los vehículos de carga que conformarán la flota de transporte óptima para la organización.

De esta manera, se procede con el diseño de rutas y selección de vehículos de transporte según el aprovechamiento de carga delimitado por la demanda total cubierta. En función de ejemplificar la resolución del VRP del Territorio I de la empresa ABCD, a continuación, se expone su diseño de rutas final:

Tabla 5

Ejemplificación – Solución del VRP Territorio I

Ruta / Camión	Nodos de la ruta (inicia con DC y debe terminar con DC)					Demanda Total cubierta	Distancia de la ruta	Tipo de Vehículo	% Capacidad utilizada
1	DC	14	12	5	DC	6066,72	407,81	HD120	73,85%
2	DC	13	15	3	DC	6854,87	253,48	HD120	83,44%
3	DC	10	6	9	DC	7483,27	320,60	HD120	91,09%
4	DC	4	7		DC	7737,22	179,52	HD120	94,18%
5	DC	2	11		DC	3742,58	134,42	HD78	71,63%
6	DC	8			DC	2336,10	150,95	HD120	72,24%

Nota. La presente tabla es la continuación del ordenamiento de ahorros presentado en la *Tabla 4*.

Como se puede evidenciar en la *Tabla 5*, el diseño de rutas por medio del algoritmo de Clark & Wright posibilita la identificación de necesidades de transporte, lo cual, mediante el análisis de carga previo permite la selección de los vehículos de la flota de transporte y sus características de carga. En el caso de la empresa ABCD, se ha delimitado que, para el Territorio I, se requiere de 6 camiones HD120 y 1 camión HD78 con capacidades de carga de 8,215 y 5,225 kilogramos, respectivamente.

Este proceso tendrá que ser replicado para todas las zonas o territorios identificados en la primera etapa de la presente metodología.

2.4 Ajuste de demanda

La presente etapa consta de un análisis zonal de ventas y de carga, empleando para esto los informes históricos de la organización, para lo cual se deberán tomar en cuenta las consideraciones de carga previamente establecidas. Asimismo, con esto se ajusta el diseño de la flota de transporte generado por la implementación del Algoritmo de Clark & Wright a las necesidades específicas de la organización.

Esta práctica pretende llevar a cabo un ajuste de vehículos de ruta, correlacionando a la flota de transporte a la estacionalidad de la demanda histórica de la organización, lo que conllevará a la selección eficiente de los vehículos que conforman dicha flota, posibilitando su aprovechamiento óptimo.

De tal manera, esta etapa está directamente relacionada con los parámetros estudiados en el diagnóstico situacional de la organización (recalcando la importancia de documentarlos); dicha información debe posibilitar la toma de decisiones del departamento de logística y los altos directivos, en cuanto al aprovechamiento de la flota de transporte. Para lo cual, es fundamental llevar a cabo una reunión de trabajo que permita delimitar cuántos de los vehículos seleccionados por el algoritmo de resolución del VRP pueden ser descartados, es decir, cómo puede ser organizada la flota de transporte de tal forma que se mantenga el cumplimiento de rutas sin ninguna pérdida de eficiencia en el proceso.

2.5 Evaluación cuantitativa

Con el objetivo de validar el diseño de la flota de transporte generado por la propuesta metodológica del presente trabajo de investigación, se deberá realizar un estudio de los beneficios cuantitativos correspondientes a su implementación, teniendo en cuenta para esto un análisis financiero en vista a un horizonte de 10 años, el cual representará la rentabilidad alcanzada por el diseño, considerando la inversión y gestión empleada para su funcionamiento óptimo.

Para ello se consideró fundamental la revisión de la depreciación vehicular, los gastos financieros, entre otros gastos fijos y variables. La metodología implementada para la evaluación de la validez de la propuesta fue el “Cálculo del VAN y el TIR” (Simisterra y Rosa, 2018). Finalmente, se determinó la factibilidad de implementación de la flota de transporte, en comparativa en muchas de las ocasiones, con la tercerización del servicio de distribución.

De tal manera, es necesaria la identificación de los siguientes costes:

- a. Costos de equipos, realizando un enfoque especial en los costos activos por la adquisición de los vehículos de la flota de transporte previamente delimitados.
- b. Costo de combustible estimado.
- c. Costo de mantenimiento, el cual, tiene que estar definido por cada tipo de vehículo de transporte seleccionado, según las especificaciones técnicas del fabricante.

d. Costos del personal requerido.

Una vez identificados dichos costos, para proceder con la proyección financiera, es fundamental llevar a cabo un análisis de los siguientes factores (esto será ejemplificado en la sección de resultados para la empresa ABCD):

- a. Depreciación vehicular.
- b. Gastos financieros.
- c. Consolidación financiera.

Finalmente, alcanzando los valores del Valor Actual Neto y la Tasa de Descuento para un horizonte de tiempo considerable, lo cual respaldará el proyecto de diseño y por lo tanto la eficacia de la presente propuesta metodológica.

Resultados

Con base en el estricto seguimiento de la presente propuesta metodológica, fue factible llevar a cabo el diseño de una flota de transporte para la empresa ABCD, la cual tomó en consideración la selección de sus vehículos de carga conformantes mediante la estructuración de rutas óptimas por medio del algoritmo del Clark & Wright. De tal manera, se alcanzaron cinco soluciones para el VRP en cada uno de los territorios que conforman el sistema de distribución de la organización, los que estuvieron conformados por un total de 79 puntos de entrega y un solo centro de distribución.

Para esto se determinaron un total de 30 rutas en función de satisfacer la demanda de la organización por cada territorio. Asimismo, considerando una eficiencia de carga promedio del 90,00%, fueron seleccionados inicialmente un total de 30 vehículos (uno por ruta), los cuales estuvieron clasificados en: 24 camiones con una capacidad máxima de carga de 8.215 kilogramos y 6 con 5.225.

Una vez alcanzado el diseño teórico de la flota de transporte fue fundamental llevar a cabo el ajuste correspondiente a las necesidades y políticas de la organización, para lo cual se recalca la importancia de las etapas 1 y 3 de la presente propuesta, en cuanto al diagnóstico situacional y el ajuste de demanda de la organización. Por medio de ellas fue factible la reducción del diseño inicial de la flota de transporte a:

- 16 camiones con capacidad de carga de 8.215 kilogramos.
- 6 camiones con capacidad de carga de 5.225 kilogramos.

Dicha decisión se basó fundamentalmente en la presencia de una variación no estacional de la demanda de la empresa ABCD, la que posibilita la satisfacción de las rutas planteadas con tan solo 22 vehículos de carga, lo que representa una reducción aproximada del 27% de la flota de transporte teórica.

Posteriormente, bajo las condiciones de evaluación planteadas y de la identificación de los costos de: equipos, mantenimientos y personal estimado; basados en el análisis financiero de: la depreciación vehicular, los gastos financieros y la consolidación financiera, se alcanzó la siguiente proyección en un horizonte de 10 años:

Tabla 6

Proyección Financiera

PROYECCIÓN DE INVERSIÓN - FLOTA DE TRANSPORTE PROPIA											
AÑO	0	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Ingresos											
Financiamiento	\$1.306.868,20										
Opex (Servicios Logísticos)		\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42
Ajuste de presupuesto Opex		\$452.564,76	\$452.564,76	\$452.564,76	\$452.564,76	\$452.564,76	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Total de ingresos		\$879.376,66	\$879.376,66	\$879.376,66	\$879.376,66	\$879.376,66	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42	\$1.331.941,42
Egresos											
Costo fijo		\$436.355,14	\$436.355,14	\$436.355,14	\$436.355,14	\$436.355,14	\$175.200,00	\$175.200,00	\$175.200,00	\$175.200,00	\$175.200,00
Costo variable		\$443.021,52	\$443.021,52	\$443.021,52	\$443.021,52	\$443.021,52	\$443.021,52	\$443.021,52	\$443.021,52	\$443.021,52	\$443.021,52
Total de egresos		\$879.376,66	\$879.376,66	\$879.376,66	\$879.376,66	\$879.376,66	\$618.221,52	\$618.221,52	\$618.221,52	\$618.221,52	\$618.221,52
Utilidad bruta		\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$713.719,90	\$713.719,90	\$713.719,90	\$713.719,90	\$713.719,90
Impuesto a la renta		\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$214.115,97	\$214.115,97	\$214.115,97	\$214.115,97	\$214.115,97
Valor residual											\$271.667,80
Depreciación		\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30
Utilidad neta		\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$92.716,30	\$592.320,23	\$592.320,23	\$592.320,23	\$592.320,23	\$863.988,03
Ajuste real de Opex		\$359.848,46	\$359.848,46	\$359.848,46	\$359.848,46	\$359.848,46	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Utilidad neta real		\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$592.320,23	\$592.320,23	\$592.320,23	\$592.320,23	\$863.988,03
VAN	\$2.427.170,97										
TIR	29,00%										

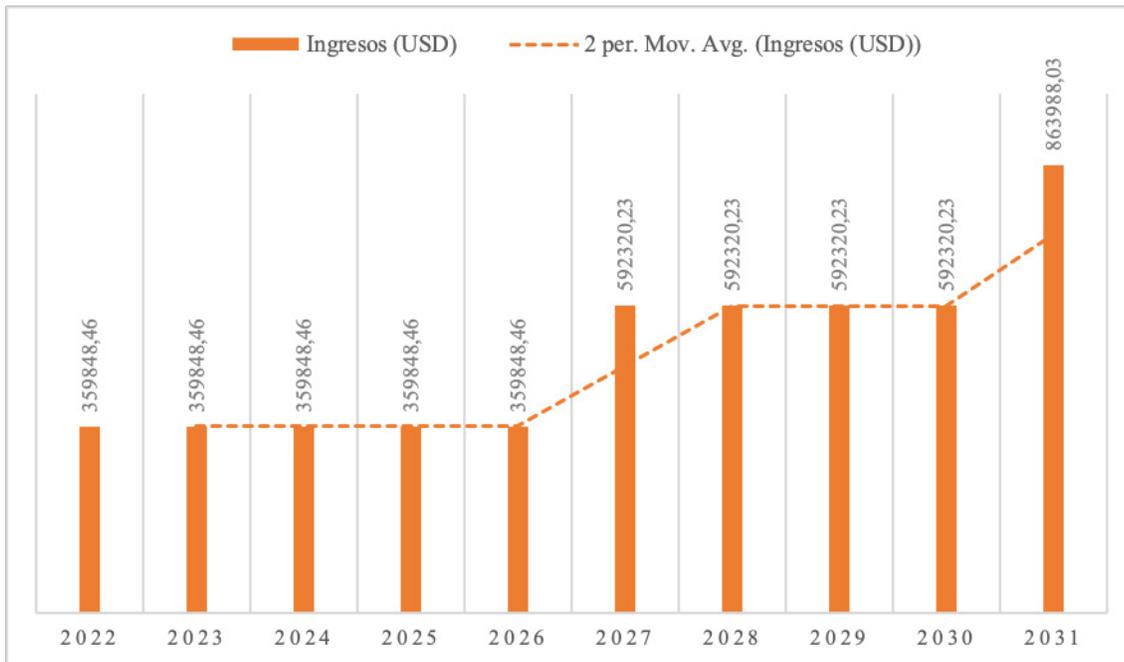
Nota. Resultados recopilados de Cevallos (2021).

De esta manera es posible delimitar a la presente propuesta de implementación como viable en un horizonte de 10 años, lo que es respaldado con el cálculo del Valor Actual Neto contando con un

valor de \$2'427.170,97 y una tasa de descuento igual al 29,00%, para lo cual ambos valores son positivos. La *Figura 2* expone el panorama de inversión en el periodo de tiempo establecido.

Figura 2

Proyección Financiera



Nota. La presente figura es la representación gráfica de la proyección financiera presentada en la *Tabla 6*.

Conclusiones

El presente trabajo aplicado en la empresa ecuatoriana líder en la producción de revestimientos cerámicos “ABCD”, ubicada en la ciudad de Riobamba–Ecuador, representa una alternativa para el diseño de flotas de transporte para cualquier tipo de organización. Para lo cual, dicha propuesta cuenta con el respaldo técnico del algoritmo de resolución del VRP implementado (constituyendo las bases teóricas de la flota) y el enfoque humano en el ajuste de las necesidades de la organización al diseño.

Cabe destacar, que el equipo encargado del diseño de la flota de transporte para la organización deberá considerar las variables del VRP presentadas en cada realidad, las que delimitarán los requerimientos en el proceso de distribución y facilitará el ajuste del diseño aportando información más precisa para la toma de decisiones.

Finalmente, para futuros proyectos de diseño e implementación se recomienda: a) la estandarización de manuales operativos enfocados al transporte de mercaderías para asegurar la gestión de la flota diseñada, y b) el uso de las matrices de ahorro como herramienta de estructuración de rutas según las necesidades del negocio.

Referencias

- Blanco, E. (2019). *Problemas de rutas de vehículos e algoritmos de ahorro: O algoritmo de Clarke and Wright* [Tesis de Maestría, Universidad de Santiago de Compostela]. <http://hdl.handle.net/10347/26303>
- Cevallos, M. (2021). *Propuesta de implementación de una flota de transporte propia para el mejoramiento del servicio de entrega en la cadena de distribución de la empresa Ecuacerámica* [Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/14950>
- Costa, J., y Castaño, J. (2015). Simulación y optimización para dimensionar la flota de vehículos en operaciones logísticas de abastecimiento-distribución. *Ingeniare*, 23(3), 372-382. <https://www.redalyc.org/pdf/772/77241115006.pdf>
- De Andrade, A. (2018). *Análise de agrupamentos de cargas itinerantes utilizando um método Clarke e Wright adaptado* [Tesis de Maestría, Universidad Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191900>
- Granada, J. (2018). *Gestión logística integral*. Ecoe Ediciones.
- Gutiérrez, R. (2018). *Diseño de ruteo vehicular con ventanas de tiempo aplicando el algoritmo Clarke & Wright para una empresa que comercializa insumos y dispositivos médicos* [Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/46083>
- Henríquez-Fuentes, G. (2018). Medición de tiempos en un sistema de distribución bajo un estudio de métodos y tiempos. *Información tecnológica*, 29(6), 277-286. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000600277>
- López, M., y Puyo, A. (2018). *Solución de problema de ruteo con flota heterogénea de una empresa del sector avícola usando el algoritmo de Clarke & Wright* [Tesis de Maestría, Universidad del Valle]. <http://hdl.handle.net/10893/18717>
- Ninikas, G., Athanasopoulos, Th., Marentakis, H., Zeimpekis, V., & Minis, I. (2009). Design and Implementation of a real-time fleet management system for a courier operator. *Engineering Asset Lifecycle Management*, 1(1), 197-206. http://dx.doi.org/10.1007/978-0-85729-320-6_23
- Ramos, D., Chanduvi, L., y Velasco, C. (2016). *Propuesta para la implementación de un sistema de transporte terrestre de repuestos, en una empresa automotriz* [Diplomado de Especialización Gerencial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas] <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/606880>.
- Sánchez Gómez, C., & Santana Escudero, A. (2019). *Optimización del multi-trip vehicle routing problem mediante el algoritmo de Clarke-Wright* [Tesis de Maestría, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/handle/11441/94006>

Simisterra, E., y Rosa, S. (2018). La viabilidad de un proyecto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). *Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación*, 2(17), 9-15. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol2iss17.2018pp9-15>

Copyright (2023) © Luis Alberto Dávila Toro y Tatiana Lara Núñez



Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons](#) 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, siempre que cumpla las condiciones de 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](#)