

DISEÑO DE UNA RED DE SERVICIO PARA TRANSPORTE DE CARGA CONSOLIDADO: REVISIÓN PRELIMINAR

Vázquez Azotea Jessica Jazmín¹; García Gutiérrez Javier²;
Loza Hernández Lourdes³; Nájera López Ma. De Lourdes⁴

^{1 2 3 4} Maestría en Ingeniería de la Cadena de Suministro
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de
México.

¹ jvazqueza859@alumno.uaemex.mx <https://orcid.org/0000-0001-9573-1508>; ²
jgarcia@uaemex.mx;

³ llozah@uaemex.mx; ⁴ mlnajeral@uaemex.mx

RESUMEN

El movimiento eficiente y la disponibilidad de materia prima así como de productos terminados depende del transporte de estos a lo largo de la cadena de suministro y al ser componentes indiscutibles de los sistemas de suministro se enfrentan a un mercado altamente competitivo sujeto a requerimientos del cliente en cuestión de confiabilidad de las entregas y bajo costo de los servicios, para enfrentar este desafío los transportistas han optado por consolidar servicios, no obstante, el diseño de dichos servicios requiere decisiones sobre la frecuencia, el modo y la ruta del servicio. Este trabajo centra sus esfuerzos en el diseño de una red de servicio de mercancía consolidada que garantiza el cumplimiento de las solicitudes del cliente empleando recursos de forma eficiente. Se incluyen elementos estocásticos en la formulación del problema y se determina el cronograma de salidas de vehículos y la secuencia de entrega de mercancía en una empresa de transporte de carga de México. El objetivo es lograr una mejor utilización de la capacidad de servicio de transporte, con los respectivos incrementos de la eficiencia y productividad de la flota vehicular.

Palabras clave: *Diseño de Redes de Servicio, servicio LTL, transporte de carga, optimización del transporte*

ABSTRACT

The efficient movement and availability of raw materials as well as finished products dependent on their transport throughout the supply chain and, being indisputable components of the supply systems, face a highly competitive market subject to requirements of the In order to face this challenge, carriers have chosen to consolidate services, however, the design of these services requires decisions about the frequency, mode and route of the service. This work focuses its efforts on the design of a consolidated merchandise network that guarantees the fulfillment of customer requests using resources efficiently. Stochastic elements are included in the formulation of the problem and the schedule of vehicle departures and the sequence of merchandise delivery in a freight transport company in Mexico are determined. The objective is to achieve a better utilization of the transport service capacity, with increases in the efficiency and productivity of the vehicle fleet.

Keywords: *Service Network Design, LTL service, freight transport, transport optimization*

Aceptado: 14 de noviembre del 2021

Publicado: 08 de diciembre del 2021

1 INTRODUCCIÓN

La industria del autotransporte de carga es estratégica y de gran importancia para el crecimiento y desarrollo en México, este sector incide directamente en la productividad y la competitividad industrial, así mismo, apoya en el crecimiento económico de las regiones. Al ser un sector altamente demandado, representa para los clientes un beneficio poder seleccionar un servicio entre la amplia gama de transportistas, aunque de manera análoga, para los autotransportistas es un reto destacar de entre sus competidores. Para lograr sobresalir en el sector, los prestadores de servicios se ven comprometidos a cumplir las expectativas de los clientes al ofertar servicios confiables y de alta calidad a costo secuánimes. Sin embargo, aunque el servicio al cliente es primordial, los beneficios no solo deben ser para los clientes, sino también deben representar ganancia para los transportistas, es decir, lograr un balance entre los beneficios ofertados y los beneficios obtenidos en función de los recursos disponibles.

Uno de los caminos que los autotransportistas han seguido para lograr este equilibrio es por medio de la consolidación de mercancía. Este tipo de servicio es ofertado cuando la cantidad de bienes (en volumen o peso) a transportar es menor que un camión completo, se reúnen varios tipos de carga de diferentes remitentes y se utiliza mejor el espacio disponible reduciendo los costos de envío. Siguiendo este esquema de trabajo, el cliente obtiene servicios a bajo costo, mientras

que la consolidación permite al transportista, aprovechar al máximo la capacidad del vehículo y, por lo tanto, se pueden reducir los costos fijos, como los costos de propiedad del vehículo (Wieberneit, 2007).

Para conseguir el equilibrio de ganancias cliente-proveedor se ha optado por atender esta problemática enmarcando los supuestos de la misma dentro del problema tipificado como el Problema de Diseño de Redes de Servicio (SNDP), en donde se incluyen decisiones estratégicas como el tamaño y la asignación de la flota, la adquisición o la subcontratación de terceros. También están incluidas decisiones tácticas que definen un plan y horario de transporte en escenarios que se repiten de forma sistemática.

El objetivo principal que busca alcanzar y resolver el SNDP es operar de manera eficiente para responder a los requisitos del cliente y garantizar la rentabilidad de la empresa a través de la selección de servicios que permitan satisfacer la demanda y cumplir con los objetivos económicos de las empresas a través del planteamiento de modelos cuantitativos y computacionales que dan solución a dichos planteamientos, es preciso considerar que el alcance de los modelos se ha visto limitado a causa del progreso computacional que se tenía un par de décadas atrás (Elbert, et.al., 2020). Las primeras investigaciones indican que, en instancias realistas, el SNDP es difícil de resolver (Wieberneit, 2007). Sin embargo, con el progreso de la investigación científica algunos de estos problemas prácticos se han modelado y les han dado solución empleando técnicas de programación cuantitativas específicas.

La base del presente trabajo está dada por Crainic (2000) quien presentó una revisión del estado del arte de los esfuerzos de modelado de diseño de redes de servicios y desarrollos de programación matemática para el diseño de redes, exaltando la planificación táctica como parte fundamental de las operaciones de transportistas que sustentan sus operaciones en la consolidación de mercancías, a su vez, resalta el uso de diseño de redes de servicio para designar las principales cuestiones tácticas como son: selección y programación de servicios, especificación de las operaciones de la terminal, enrutamiento de la carga. Con un enfoque en el transporte de carga de larga distancia, interurbano, Crainic (2003) muestra los principales problemas de planificación y gestión de este modo de transporte y realiza una revisión breve de la literatura, se describe de forma general los sistemas de transporte de carga y los problemas de planificación con perspectiva en el reposicionamiento de recursos vacíos.

La especialización en el diseño de redes de servicio, ahora dinámicas (SNDPD), la presenta Dall'Orto et. al. (2006) quienes hacen una formulación con valores estocásticos que dependen del tiempo, tiene como objetivo optimizar el problema en un horizonte de planificación dado y propone un enfoque de solución basado en principios de programación dinámica a partir de una sola terminal que despacha servicios a varios clientes y otros terminales, aunado a este modelo, proponen una formulación estática, de período único, del problema de un solo nodo que aparece como un subproblema al abordar la versión dependiente

del tiempo y los casos de diseño de redes de servicios generales.

Más adelante Lium et al. (2007) conjuntan sus esfuerzos al diseñar un modelo para el transporte intermodal tomando en cuenta la configuración de problemas deterministas, factores como la demanda variable y la diversidad en los tiempos de viaje no fueron abordados en estos trabajos. Lium et al. (2009) hace la formulación de un modelo de diseño de red de servicio con programación estocástica, abordando de esta manera planeación táctica que define un plan y horario de transporte repetible con consolidación de mercancía. Bai et al. (2014) dan continuidad al trabajo de Lium et al. (2009) formulando un modelo de diseño de red de carga estocástico con opciones de redireccionamiento de vehículos que es un conjunto de instancias adaptadas de la literatura. Su rendimiento y características se evalúan a través de estudios comparativos y análisis detallados en el nivel de estructura de la solución, la investigación en diseño de redes de servicio se ha centrado en los últimos años en el diseño de modelos con parámetros estocásticos en donde la demanda y el volumen son inciertos (Bai et al., 2014; Hewitt et al., 2019; Lium et al., 2009). Por otro lado, Wang et al. (2019) investigaron el valor de las soluciones deterministas para abordar los problemas de diseño de redes estocásticas mediante el análisis de sus formulaciones dependientes del tiempo;

se trabaja con cuatro modelos con capacidad fija y variable, con o sin restricciones de gestión de recursos además de consideraciones de gestión de recursos. Los modelos pretenden encontrar el balance entre los servicios que son planificados con antelación a bajo costo y el flujo de los productos con alta demanda, pero considerando la subcontratación de proveedores externos para cumplir con demandas altas.

Hoff et al. (2009) amplió el trabajo realizado en Lium et al. (2009) mediante la introducción de un método basado en la búsqueda de vecindarios variables para resolver instancias a gran escala tiene como objetivo seleccionar y programar los servicios proporcionados por una flota de vehículos homogéneos, de manera que se minimice el costo total esperado del sistema por medio de escenarios basados en los planteamientos de Lium, Crainic, y Wallace (2007). La programación estocástica de dos etapas ha sido el modelo predominante para dar solución al problema de demandas inciertas (Bai et al., 2014; Hewitt et al., 2019; Lium et al., 2009). Bajo este enfoque de dos etapas los valores estocásticos de la demanda se incorporan en escenarios.

Las variables de decisión de la primera etapa representan decisiones fijas en todos los escenarios, como son los horarios fijos para los servicios en el caso del diseño de red de servicios estocásticos. Hewitt et al. (2019) extienden esta primera etapa considerando adicionalmente la decisión sobre la adquisición y asignación de recursos. La segunda etapa se refiere a la variabilidad de la demanda en donde las posibles operaciones para mejorar el plan de transporte,

solo se pueden tomar dentro de un escenario concreto cuando se conoce la demanda; son la subcontratación del flujo de productos, que excede la capacidad determinada en la primera etapa. Bai et al. (2014) también incluyen una adaptación del cronograma dependiente del escenario al aumentar o disminuir el número de vehículos en los diferentes ciclos.

Wang et al. (2019) estudia la calidad de las soluciones deterministas en redes de servicio estocásticas analizando las formulaciones dependientes del tiempo (servicios programados), proponen un esquema de medición para evaluar el nivel de propiedades estructurales potencialmente beneficiosas (uso de rutas múltiples y compartición de rutas) en diferentes soluciones. Los resultados muestran que las propiedades estructurales tienen alto impacto y están correlacionadas con el desempeño de una solución en el entorno estocástico. Lanza et al. (2020) trabajan en el problema estocástico de diseño de red de servicio programado, pero ahora incluye la incertidumbre en los tiempos de viaje, así como la calidad de las entregas referida a la operación puntual, la solución de este planteamiento se genera a través de una metaheurística basada en la cobertura progresiva. Finalmente, Elbert et al. (2020) resumen el estado actual sobre los diferentes modos de transporte a partir del 2008 y categoriza en términos de características del problema, formulaciones de modelos y enfoques de solución incluye la demanda incierta, los tiempos de transporte, los costos y las capacidades.

En la sección II se presenta la descripción del objeto de estudio, referido a la forma de operación, recursos y rutas disponibles para

cubrir la demanda, en esta misma sección se muestra la clasificación de los distintos modelos de redes de servicio y a partir de estapificación se plantea el modelo del Diseño de Red Capacitado para Múltiples Productos con Costos Lineales en la sección III. En el apartado IV se enmarcan los avances obtenidos en la investigación del Diseño de Redes de Servicio y finalmente en la sección V se presenta el trabajo restante a desarrollar para la conclusión de dicha investigación.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El objeto de estudio de esta investigación es una empresa dedicada a proporcionar servicios de autotransporte de carga en la República Mexicana, tiene sede en la ciudad de Toluca y cuenta con siete sucursales distribuidas en Jalisco, Nuevo León, Veracruz, Sinaloa, Ciudad de México (dos) y el centro de distribución (CEDIS) en el parque industrial Toluca 2000.

La infraestructura de la empresa, además de contar con las sucursales antes mencionadas, incluye los vehículos con los cuales se realizan las solicitudes de los clientes. De acuerdo al tipo de servicio que el cliente requiera y con la finalidad de maximizar la utilización de los vehículos, se selecciona el vehículo que será requerido para dicha tarea.

Los vehículos con que se cuenta se clasifican en tres grupos de acuerdo a sus características en cuanto a dimensiones y capacidad de carga:

- 15 camionetas de 3.5 toneladas,
- 75 tándems (2 ejes) con capacidad de 17 ton
(6.50 x 2.50 x 2.40 m)

- 120 tráiler de caja seca de 53 pies con capacidad de 25 ton (15.90 x 2.50 x 2.50 m)

Para nuestro caso de estudio, nos centraremos en el subproceso de mercancía consolidada de la empresa en cuestión que inicia cuando se recibe mercancía en alguna de las sucursales y posteriormente la mercancía se mueve de la sucursal a origen al CEDIS en el parque industrial Toluca 2000.

Las sucursales de Ciudad de México en Iztapalapa y Vallejo son las principales proveedoras de servicios consolidados y aunque también cuentan con la capacidad de ser distribuidoras, su función dentro de la empresa es recolectar mercancía para después enviarla al CEDIS (figura 1). La formalización de esta función se ha dado con la asignación de vehículos de 2 ejes que tienen el circuito Iztapalapa-CEDIS-Iztapalapa y Vallejo-CEDIS-Vallejo, en ambos casos se cuentan con tres horarios de salida de lunes a sábado que, de acuerdo a demanda, se pueden reducir o ampliar.

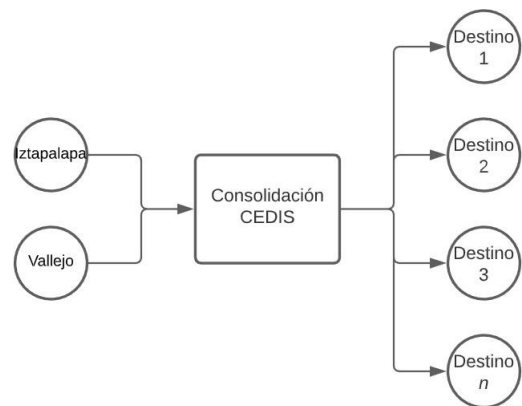


Figura 1 Consolidación de mercancía, elaboración propia 2020.

En los casos de las sucursales de Veracruz, Jalisco, Nuevo León, Sinaloa y Toluca, el cronograma de salidas de vehículos con destino al CEDIS está totalmente determinada por la

demanda. Una vez que se ha cubierto la capacidad total de vehículo o su rentabilidad de acuerdo al formato de rentabilidad interno es del 50%, sale la ruta con destino parque industrial Toluca 2000, para estos envíos se puede recurrir a cualquiera de los tres tipos vehículos disponibles. Sin embargo, la ruta consolidada Bajío, cuya área de cobertura se ilustra en la figura 2, posee la mayor cantidad de entregas consolidadas y en la cual se enfoca el presente análisis contiene los destinos enmarcados en la tabla 1.

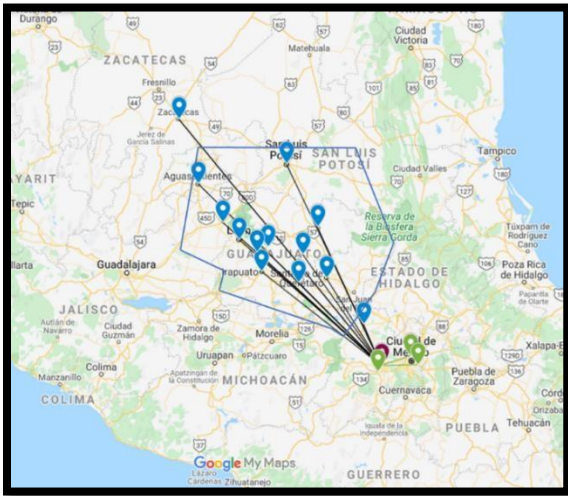


Figura 2 Área de cobertura de servicios consolidados Bajío, elaboración propia 2020.

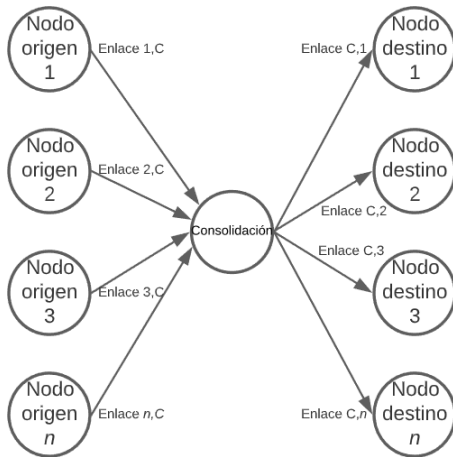
Tabla 1 Relación Origen-Destino, ruta Bajío

Origen	Destino	Semana						Tipo de unidad	
		L	M	X	J	V	S	17 ton	25 ton
Ruta Bajío									
CEDIS	San Juan del Rio	•					•	•	
CEDIS	Querétaro	•					•	•	
CEDIS	Celaya	•					•	•	
CEDIS	Morelia		•				•	•	
CEDIS	Salamanca		•				•	•	
CEDIS	León			•			•	•	
CEDIS	Aguascalientes			•			•	•	

Los puntos en los recuadros determinan el día de la semana que ya se tienen programadas las salidas, sin embargo, si no existe demanda en los servicios, el cronograma de salidas no se cumple y se retiene el vehículo asignado para cubrir este servicio hasta que la demanda lo solicite. La ejecución del programa de salidas a ruta de los vehículos está sujeta a la demanda.

De acuerdo a la revisión de literatura, son pocas las instancias en donde se ha aplicado un modelo de diseño de redes de servicio en instancias realistas, sin embargo, para el presente trabajo se analiza el problema de diseño de redes para una empresa de autotransporte de carga, en donde se movilizan bienes a través de una red de distribución que cuenta con enlaces dirigidos conectados por enlaces y nodos, usualmente representados por grafos como se muestra en la figura 3. Los nodos, representan orígenes, destino o puntos de trasbordo y/o consolidación, mientras que los enlaces estarán dotados de características que restringen el flujo de mercancías a través de ellos como son longitud, capacidad y costo, Crainic (2000). Enfatizado en el aspecto de los costos, es necesario destacar que al activarse un servicio se incurre en costos fijos derivados del uso de las conexiones.

Figura 3 Grafo de nodos y arcos, representación red dedistribución, elaboración propia 2020.



El objetivo del diseño de redes de servicio es seleccionar el conjunto de nodos y enlaces que permitan cumplir los requisitos de los clientes tomando en cuenta los costos incurridos en su desarrollo (fijos o variables) así como las restricciones que derivan del uso de los enlaces. Para el desarrollo de este escrito, dado el grafo $G=(N,A)$ en donde N es el conjunto de nodos, A es un conjunto de enlaces y P es el conjunto de productos que serán transportados a través de la red. de acuerdo al trabajo elaborado por Crainic (2000) y realizando una adaptación del Elbert, et al., (2019) se destaca la introducción de variables de decisión en las redes de servicios y estas redes responden a servicios dinámicos o no dinámicos ya sea con una estructura de red dada o una estructura de red variable, los atributos de estas dimensiones son enlistadas a continuación:

I. Red de servicio dinámico con estructura de red variable

En este tipo de red se considera la capacidad de los servicios ofertados en función de la frecuencia

o la cantidad de servicios brindados dentro de un periodo definido.

II. Red de servicio dinámico con estructura de red dada

Para esta red se proporcionan los horarios de transporte y se eligen los servicios de transporte dado un conjunto predefinido de órdenes de transporte

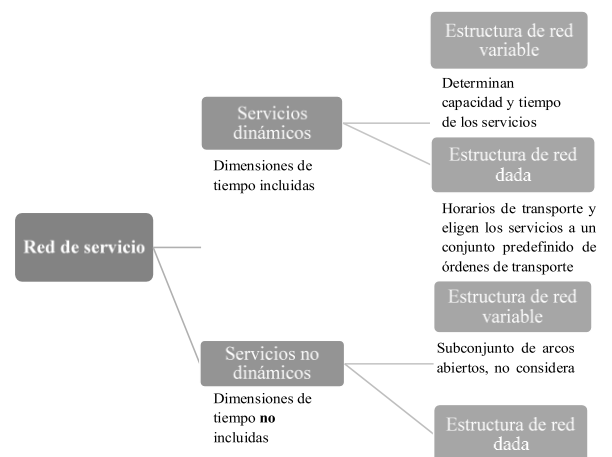
III. Red de servicio no dinámico con estructura de horarios de transporte.

IV. Red de servicio no dinámico con estructura de red dada

Este tipo de red no es usual que sea abordado en la literatura, debido a que no difiere al problema de flujo de red, en donde se debe encontrar el flujo máximo del origen al destino, siempre apejándose a distintas restricciones.

La adaptación del esquema de la clasificación realizada por Elbert, et.al (2020) se encuentra en la figura 4.

Figura 4 Clasificación de las redes de servicio, adaptación de Elbert, et.al. (2020).



A partir de esta clasificación se trabaja con un modelo de optimización que responde a las

características de redes de servicios no dinámicos, estructura de red variable la cual se muestra en la sección siguiente.

3 MODELO DE OPTIMIZACIÓN

En esta sección se plantea inicialmente, una versión del Diseño de Red Capacitado para Múltiples Productos con Costos lineales (MCND) el cual es el modelo base para el

red variable

En el diseño de este tipo de red se determina un subconjunto de arcos abiertos, sobre los cuales se ofrecen los servicios de transporte sin considerar los

diseño de redes de servicio, es indispensable partir de este modelo para comprender el comportamiento de una red dinámica que representa mayor complejidad en su planteamiento, así como en la solución. El modelo MCND es el siguiente:

$$Min \sum_{(ij) \in A} f_{ij} y_{ij} + \sum_{(ij) \in A} \sum_{p \in P} c^{p_{ij}} x^{p_{ij}} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in N} x^{p_{ij}} - \sum_{j \in N} x^{p_{ji}} = d^{p_i}, i \in N, p \in P$$

(2)

$j \in N$ $j \in N$

uno o ambos parámetros a través de la generación de escenarios y dependen de una distribución de probabilidad de la demanda, que como se señala en la sección IV, se encuentra en proceso.

$$\sum_{p \in P} x^{p_{ij}} \leq u_{ij} y_{ij}, (i,j) \in A \quad (3)$$

$p \in P$

$$(x, y) \in S, (i,j) \in A, p \in P \quad (4)$$

$$y \in Y, (i,j) \in A \quad (5)$$

$$x^{p_{ij}} \geq 0, (i,j) \in A, p \in P \quad (6)$$

Donde f_{ij} representa el costo fijo de emplear el enlace (i,j) , y_{ij} son variables enteras que reflejan las decisiones de enrutamiento para cada enlace (i, j) , Y es una variable binaria dada por

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{solo si el enlace es seleccionado} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Mientras que c^p corresponde al costo de transporte por unidad de flujo del producto p por el enlace (i,j) , x^p representa variables de decisión de flujo continuo,

indica la cantidad de bienes p enviados en el enlace

(i,j) , por lo anterior, la función objetivo del MCND indica el costo total del sistema. Considera las compensaciones entre los costos de ofrecer la infraestructura o servicios de transporte y los de operar el sistema para hacer fluir el tráfico. La ecuación (2) es la restricción de balance de la demanda, es decir, la suma de las cantidades del producto p enviadas a través del enlace (i,j) . La restricción (3), es identificada como una restricción forzada, establece que el flujo total en el enlace (i,j) no puede exceder la capacidad u_{ij} si el enlace se elige en el diseño de la red (es

decir, $y_{ij}=1$) y debe ser 0 si (i,j) si no es parte de la red seleccionada (es decir, $y_{ij} = 0$). La ecuación (4) captura restricciones adicionales relacionadas con el diseño de la red o las relaciones entre las variables de flujo. Mientras que la ecuación (6) suponen que las variables deben ser no negativas.

El modelo que se presenta en esta revisión preliminar es una formulación general que se utiliza en el contexto de la planificación del transporte de mercancías, no contiene consideraciones referentes a la cantidad de bienes que salen de los orígenes al igual que la cantidad demandada, ya que para estos elementos se han realizado formulaciones complejas en donde abordan

4 DISCUSIÓN DE AVANCES

El planteamiento de la formulación antes mostrados permite iniciar con el Diseño de redes de servicio del objeto de estudio, dado que es preciso conocer la dinámica de la empresa bajo un entorno determinista, este primer acercamiento nos permite analizar la situación actual de la empresa y la forma en que podemos relacionar elementos teóricos con un caso práctico.

Los costos de transporte, que estaban representados en los costos fijos del servicio f_{ij} , están determinados con base en los costos por kilómetro reportados por la empresa, estos costos son evidenciados principalmente en los enlaces (i,j) de los circuitos de Ciudad de México y CEDIS, el costo de transporte por unidad de flujo del producto p por el enlace (i,j) se encuentra tabulado en el proceso de la empresa, la capacidad de los vehículos de transporte también se tiene considerada debido a que para estos enlaces solo se emplea un tipo de vehículo específico.

Como se puede ver en la literatura revisada, muy pocos han sido los modelos aplicados en los sectores industriales. Lo antes descrito, representa solo una fracción de la investigación de Diseño de redes de servicio ya que derivado de la extensión que el Diseño de Redes de Servicio representa, se ha abordado en primer instancia un modelo determinista (sección III) que nos permite comprensión del comportamiento de la red bajo este régimen, sin embargo, una vez establecido el fundamento de las redes de servicio se pueden

agregar componentes estocásticos que contengan fluctuación en la demanda, tiempos de entrega, variabilidad en las unidades de servicio, entre otros, dando como resultado modelos que se apegan más a problemas cotidianos de transporte de carga consolidada.

El avance logrado hasta ahora, de acuerdo a la metodología planteada inicialmente, referido al “*Diseño de una red de servicio para transporte de carga consolidada: caso de estudio*” se enlista a continuación:

1. Revisión de la literatura:

Se ha realizado la recopilación de información correspondiente a modelos cuantitativos para el diseño de cronogramas para el servicio de autotransporte de carga consolidada.

2. Recopilación de información proporcionada por la empresa:

Con base en la revisión de literatura referente a modelos cuantitativos para el diseño de cronogramas para el servicio de autotransporte de carga consolidada, se ha determinado la información requerida por parte de la empresa para realizar la modelación del problema, sin embargo, aún se encuentra en proceso la recolección de datos históricos de los servicios ejecutados durante el periodo 2019-2020.

La información requerida con respecto al costo por efectuar un servicio en la ruta Bajío se tiene disponible, de igual manera, se cuenta con información que refiere a la capacidad de la ruta, en este sentido se asumirá que la flota vehicular es homogénea donde los costos de transporte y las capacidades dependen del vehículo utilizado, sin embargo, la información que se sigue trabajando y que es indispensable, es la distribución de la

demanda que es resultado de los servicios en el periodo objetivo.

3. Modelación del problema cuantitativo:

Para la formulación del modelo cuantitativo, como se mostró en este documento, se tiene identificado el modelo básico para el Diseño de Redes de Servicio y se está trabajando en un modelo de diseño de red de servicio programado que aborda simultáneamente las decisiones estratégicas con respecto al tamaño y la asignación de la flota, incluidas la adquisición y la subcontratación, así como las decisiones tácticas con respecto a un plan y horario de transporte repetible.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El trabajo consecuente que será abordado implica la construcción de una programación de servicios para viajes consolidados en una empresa de servicio de

transporte de carga en México que establezca tiempos de salidas de vehículos a partir del Diseño de Redes de Servicio además de:

- Modelar y resolver cuantitativamente el problema de programación de horarios para viajes consolidados de la empresa usando variables estocásticas.
- Determinar los horarios apropiados para salida de vehículos desde un origen, con base a la información obtenida de la modelación.

El trabajo que aún resta por abordar siguiendo la metodología es:

4. Aproximación a solución:

Una vez modelado el problema de red de servicio, se procederá a hacer uso de software para brindar al menos una posible solución factible al modelo cuantitativo

5. Comparación de resultados:

En la etapa final de este trabajo se realizará un análisis costo beneficio de la solución del modelo cuantitativo con respecto a la situación actual de la empresa y se revisará la factibilidad de esta solución.

6. REFERENCIAS

Bai, R., Wallace, S. W., Li, J., & Chong, A. Y.-L. (2014). Stochastic service network design with rerouting. *Transportation Research Part B: Methodological*, 60, 50-65.

<https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.11.001>

Crainic, T. G. (2000). Service network design in freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 122(2), 272-288.

[https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(99\)00233-7](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(99)00233-7)

Crainic, T. G. (2003). Long-Haul Freight Transportation. *International Series in Operations Research & Management Science*, 451-516.

https://doi.org/10.1007/0-306-48058-1_13

Dall'Orto, L. C., Crainic, T. G., Leal, J. E., & Powell,

W. B. (2006). The single-node dynamic service scheduling and dispatching problem. *European Journal of Operational Research*, 170(1), 1-23.

<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.06.016>

Elbert, R., Müller, J. P., & Rentschler, J. (2020). Tactical network planning and design in multimodal transportation – A systematic literature review. *Research in Transportation Business & Management*, 35, 10046

2.

<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100462>

Hewitt, M., Crainic, T. G., Nowak, M., & Rei, W. (2019). Scheduled service network design with resource acquisition and management under uncertainty. *Transportation Research Part B: Methodological*, 128, 324–343. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.08.008>

Hoff, A., Lium, A.-G., Løkketangen, A., & Crainic, T. G. (2009). A metaheuristic for stochastic service network design. *Journal of Heuristics*, 16(5), 653-679. <https://doi.org/10.1007/s10732-009-9112-8>

Lanza, G., Crainic, T. G., Rei, W., & Ricciardi, N. (2020). Scheduled service network design with quality targets and stochastic travel times. *European Journal of Operational Research*, 288(1), 30-46. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.05.031>

Lium, Arnt-Gunnar & Crainic, Teodor Gabriel & Wallace, Stein. (2007). Correlations in stochastic programming: A case from stochastic service network design. *Asia-Pacific Journal of Operational Research (APJOR)*. 24. 161-179. 10.1142/S0217595907001206

Lium, A.-G., Crainic, T. G., & Wallace, S. W.

(2009). A Study of Demand Stochasticity in Service Network Design. *Transportation Science*, 43(2), 144-157.

<https://doi.org/10.1287/trsc.1090.0265>

Wang, X., Crainic, T. G., & Wallace, S. W. (2019). Stochastic Network Design for Planning Scheduled Transportation Services: The Value of Deterministic Solutions. *INFORMS Journal on Computing*, 31(1), 153-170.

<https://doi.org/10.1287/ijoc.2018.0819>

Wieberneit, N. (2007). Service network design for freight transportation: a review. *OR Spectrum*, 30(1), 77-112. <https://doi.org/10.1007/s00291-007-0079-2>