



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAGISTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MENCION
LOGISTICA Y GESTION DE OPERACIONES

PROGRAMACIÓN DE TAXIS CON VENTANA DE TIEMPO Y FLOTA
HETEROGÉNEA: ENFOCADO AL ÁREA TURÍSTICA DE UNA
CIUDAD.

CONSUELO SOLEDAD CASTRO VALENZUELA

Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias
de la Ingeniería mención Logística y Gestión de
Operaciones

Profesor Supervisor: Pamela Álvarez Marambio

SANTIAGO – CHILE

ENERO 2019



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAGISTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MENCION
LOGISTICA Y GESTION DE OPERACIONES

PROGRAMACIÓN DE TAXIS CON VENTANA DE TIEMPO Y FLOTA
HETEROGÉNEA: ENFOCADO AL ÁREA TURÍSTICA DE UNA
CIUDAD.

CONSUELO SOLEDAD CASTRO VALENZUELA

Tesis presentada a la Comisión Integrada por los profesores:

Prof. Supervisor : Pamela Álvarez Marambio
Prof. Corrector : Luis Felipe Robledo Aldana
Prof. Invitado : Carolina Vladilo Peric

SANTIAGO – CHILE

ENERO 2019

Dedico mi tesis con todo mi amor y cariño a mis hijos: Ignacia y Agustín, pues son mi principal motor para seguir adelante, luchar día a día y ser mejor.

A mi Madre, por darme la oportunidad de estudiar, apoyarme en el cuidado de mis hijos y buscar y fomentar siempre que sea una gran profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a mi casa de estudios, Universidad Andrés Bello y a cada uno de los profesores que tuve mientras cursaba mi carrera. Cada uno de ellos me permitió adquirir conocimientos en diversas áreas de la ingeniería y pude descubrir que es lo que me apasiona de esta carrera.

Gracias de corazón a mi profesora guía de Tesis y Directora de Magister Pamela Álvarez, por su infinita paciencia conmigo, por todas las oportunidades que me dio para poder finalizar este proceso, por el apoyo, la ayuda y su valiosa guía en el desarrollo de este trabajo. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y sabiduría, y más aún haber podido aprender de usted.

Un especial agradecimiento a quien en algún momento tomo la decisión de confiar en mí, al Profesor Miguel Ángel González Lorenzo. Gracias por permitir que pudiera desarrollarme en el área de la docencia, por confiar completamente en mí, por su constante apoyo y ganas de enseñarme, gracias por querer siempre que sea mejor y motivarme constantemente para que salga adelante. Sin usted no habría podido crecer tanto profesionalmente, como lo he hecho hasta ahora, ni haberme dado cuenta de mis grandes y valiosas capacidades. Sin duda quedan muchas cosas por aprender, pero si no me hubiese dado la oportunidad, quizás hoy no estaría finalizando este proceso.

Agradecerles a mis compañeros de Magister, en especial a Carolina Vladilo y Diego Beneventti por motivarme en que finalizara este proceso, por estar siempre preocupados de mí, por el apoyo y sobre todo, su gran y valiosa ayuda.

Gracias a todos aquellos que se cruzaron en mi camino durante este proceso, los cuales permitieron que me diera cuenta que era capaz de desarrollar este trabajo, aquellos que confiaron en mí, en mis capacidades y mis aptitudes. Sin duda también debo agradecer a esas personas que no confiaron en mí, a los que creyeron que fracasaría y jamás culminaría esta etapa, ellos me dieron las fuerzas para demostrarme a mí misma que soy capaz de esto y muchas cosas más, que puedo asumir cualquier tipo de desafío.

ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción.....	1
II.	Descripción del problema.....	3
III.	Revisión Bibliográfica.....	5
3.1.	Problema de Ruteo de Vehículos (Vehicle Routing Problem VRP).....	5
3.2.	Problema de Recogida y entrega (PDP).....	6
3.3.	Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad (CVRP).....	6
3.4.	Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de tiempo (VRPTW).....	7
3.5.	Turismo.....	7
IV.	Modelo matemático.....	9
4.1.	Conjuntos.....	9
4.2.	Parámetros.....	10
4.3.	Supuestos.....	10
4.4.	Variables de decisión.....	10
4.5.	Función objetivo y restricciones.....	11
4.6.	Algoritmo de Actualización.....	12
4.6.1.	Conjuntos algoritmo de actualización.....	13
4.6.2.	Parámetros algoritmo de actualización.....	13
4.6.3.	Ejecución del Algoritmo de actualización.....	14
V.	Caso de estudio.....	15
VI.	Resultado.....	17
VII.	Discusiones y conclusiones.....	25
VIII.	Referencias.....	27
IX.	Anexos.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla VI-1 Explicación Leyenda del Gráfico	21
Tabla IX-1 Resultados.....	32
Tabla IX-2 Leyenda Tabla de Resultados.....	34

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico VI-1 Resultados Instancia 1	18
Gráfico VI-2 Utilización de los Vehículos	20
Gráfico VI-3 Porcentaje de Utilización de vehículos del Paradero 1	22
Gráfico VI-4 Porcentaje de Utilización de vehículos del Paradero 2	23
Gráfico VI-5 Porcentaje de Utilización de vehículos del Paradero 3	24

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración VI-1 Ubicación Paraderos.....	19
---	----

RESUMEN

En los últimos años, el turismo se ha convertido en uno de los sectores económicos más importantes y de más rápido crecimiento en la economía mundial. Además es ampliamente reconocido por su contribución al desarrollo económico regional y nacional. El turismo es un negocio que comprende muchos sectores de servicios, entre los cuales se encuentra el servicio de transporte en ciudad. En este contexto, el desarrollo de políticas de movilidad sostenible en las ciudades, puede promover la accesibilidad y el desplazamiento sencillo del turista mientras descubre los principales atractivos de la ciudad. Los servicios de taxi desempeñan una función relevante de transporte, puesto que son vehículos privados utilizados para el servicio de transporte público que proporcionan transporte personal puerta a puerta.

Para este estudio se consideró un servicio de taxis enfocado a los mercados pre-reservados, los cuales utilizan un despachador central que retransmite las llamadas de los clientes a los taxistas, ya sea para envío inmediato o para reservar un taxi por un tiempo en particular. Por lo tanto, el estudio se basa en la asignación de vehículos para el traslado de turistas. Estos se alojan en hoteles, por lo tanto el hotel les ofrece el servicio de facilitar y coordinar con una central de taxis un vehículo para movilizarlos hacia los diversos puntos de la ciudad que deseen visitar o se requieran desplazar.

Se desarrolló un modelo que permite realizar la asignación de vehículos a los requerimientos generados desde un hotel. Se utilizó como base el clásico Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) y algunas de sus variantes como: el Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad (CVRP) y el Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW). El objetivo del modelo es optimizar la asignación de taxis, que minimice los tiempos de llegada al requerimiento. Al minimizar los tiempos del modelo, se logra un aumento en el nivel de servicio otorgado al cliente.

El modelo fue aplicado en la ciudad de Santiago de Chile, en donde los resultados ilustran que se puede realizar una asignación eficiente a cada requerimiento, disminuyendo al mínimo los tiempos ociosos.

I. Introducción.

En los últimos años, el turismo se ha convertido en uno de los sectores económicos más importantes y de más rápido crecimiento en la economía mundial, además es ampliamente reconocido por su contribución al desarrollo económico regional y nacional (Seddighi, H. R., & Theocharous, A. L. 2002; Navickas, V., & Malakauskaite, A. 2009). El turismo es un negocio que comprende muchos sectores de servicio (Otto, J. E., & Ritchie, J. B. 1996), por lo cual es manejado por diversas industrias. Los principales servicios y productos que se ponen a disposición del cliente son: alojamiento, transporte, alimentación, traslados, arriendo de autos, circuitos turísticos, excursiones, paquetes turísticos, servicio de cruceros, seguros de viajes, entre otros¹.

Un destino turístico está compuesto de atracciones, infraestructura, hospitalidad y transporte (Kozak, M., & Rimmington, M. 1999).

En este ámbito la movilidad es un tema esencial para los turistas que visitan las grandes ciudades (Albalate, D., & Bel, G. 2010). El servicio de transporte para turistas es fundamental, debido a que, además de la infraestructura turística y otros determinantes clásicos a la hora de seleccionar un lugar, la infraestructura de transporte es un determinante significativo (Khadaroo, J., & Seetanah, B. 2008).

No se sabe con exactitud qué tipo de transporte es que el prefieren utilizar los turistas, puesto que ha habido poca investigación sobre el comportamiento de selección de modo de transporte de los turistas (Kelly, J., Haider, W., & Williams, P. W. 2007). La elección de movilidad turística es un proceso complejo de toma de decisiones, tomar la decisión de la forma en la que se movilizara el turista depende de la oferta de transporte, flexibilidad y aventura del visitante (Butler, G., & Hannam, K. 2012).

El transporte público juega un papel importante en el desarrollo del turismo en un destino, especialmente en zonas urbanas (Le-Klaehn, D. T., & Hall, C. M. 2015), por lo tanto, cuando un turista se encuentran en una ciudad o pueblo, pueden hacer uso tanto del transporte público, como transporte privado (contratar un servicio de taxi o arrendar automóviles).

¹ <https://www.entornoturistico.com/tipos-de-servicios-y-productos-que-ofrecen-las-agencias-de-viajes/>

En este contexto, el desarrollo de políticas de movilidad sostenible en las ciudades, puede promover la accesibilidad y el desplazamiento sencillo del turista mientras descubre los principales atractivos de la ciudad (Falcón, H. S., Tacoronte, D. V., & Santana, A. G. 2016), por lo que la accesibilidad es un punto importante para los turistas, ya que es la conexión entre puntos turísticos que deseen visitar, ya sea en transporte público o privado (André, M.E. 1999).

Los servicios de taxi desempeñan una función relevante de transporte (Cai et al., 2016; Bai et al., 2014), puesto que son vehículos privados utilizados para el servicio de transporte público que proporcionan transporte personal puerta a puerta y funcionan como un modelo de transporte bajo demanda, con mayor flexibilidad temporal y espacial, agregando privacidad y comodidad al servicio (Salanova et al., 2011). Siendo un transporte puerta a puerta, permite desarrollar un trabajo colaborativo con los hoteles de tal forma que un taxi pueda ser utilizado en el momento en que el turista lo requiera, siendo el hotel quien gestione el servicio de transporte, de acuerdo a los requerimientos que necesiten los turistas.

Los servicios de taxis se pueden agrupar en tres categorías de mercado: mercados de clasificación, mercado de tránsito y mercados reservados previamente (Salanova et al., 2011; Bai et al., 2014). En este estudio se aborda el caso de servicios de taxis con reserva previa, dándole un enfoque destinado al área turística, específicamente a pasajeros hoteleros.

Un hotel llama a una central de taxis para solicitar un vehículo que traslade a los turistas desde el hotel hacia diversos puntos turísticos de la ciudad, o viceversa. El problema a resolver es la asignación de vehículos a los distintos requerimientos que se puedan presentar desde los hoteles. Se cuenta con una flota heterogénea de vehículos, unos con capacidad para trasladar hasta cuatro pasajeros y otros con capacidad máxima de ocho pasajeros. Por otro lado, se debe identificar si el requerimiento debe ser atendido en el momento que llega el llamado, o se realiza una solicitud para reserva de un vehículo, el cual debe realizar el servicio a una hora estimada por el hotel. Este problema es dinámico, ya que la asignación debe realizarse en tiempo real, cada vez que llega una llamada, y debe hacerse con diferentes grados de complejidad, ya que cada pasajero puede definir ventanas de tiempo en el origen, que es un aspecto que no se ve en otros estudios. Operar con ventanas de tiempo significa que cada cliente debe ser atendido dentro de un intervalo de tiempo específico. Si un vehículo llega temprano, el servicio no puede prestarse hasta el inicio de la ventana (Zhang, Y., Baldacci, R., Sim, M., & Tang, J. 2018)

Para abordar este problema, que corresponde a una extensión del "Problema de enrutamiento de vehículos" (VRP) (Kümmel et al., 2016), se desarrolló un modelo matemático que permite la asignación dinámica de los vehículos a las llamadas correspondientes. Además, el modelo incluye un algoritmo de actualización que muestra la disponibilidad de taxis en tiempo real, lo que permite la planificación temporal centralizada en la central de taxis, lo que garantiza operaciones continuas de servicio al cliente.

El objetivo del modelo es optimizar la asignación de taxis, que minimice los tiempos de llegada al requerimiento. En el instante en que se solicita un vehículo, lo que espera el cliente es llegar a su destino en el menor tiempo posible, por lo tanto al minimizar los tiempos del modelo, indirectamente provoca un aumento en el nivel de servicio otorgado al cliente.

La estructura del presente artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 corresponde a la descripción del problema; la sección 3 corresponde a la revisión de la literatura; sección 4 se desarrolla y describe el modelo matemático; la sección 5 se describe el caso de estudio; en la sección 6 se presentan los resultados y sus respectivos análisis y finalmente la sección 7 corresponde se desarrollan las discusiones y conclusiones.

II. Descripción del problema

Cuando un turista visita por primera vez una ciudad o pueblo, es muy difícil orientarse y adaptarse al sistema de transporte que tenga el lugar visitado, más aún si éste está diseñado y señalizado en un idioma que no es el nativo. Existen diversas formas en las que un turista puede trasladarse dentro de la ciudad, por lo que Cuevas et al. (2016) indican que el transporte público masivo, como los subterráneos, trenes o autobuses, trabajan dentro de una red definida de infraestructura y servicio, lo que lo hace inflexible, permitiendo entregarles distintas alternativas de transporte a los turistas. En este contexto, los taxis, que son un servicio punto a punto, a pedido (Aarhaug y Skollerud, 2014), brindan flexibilidad al transporte intraurbano.

Siguiendo a Salanova et al. (2011) y Aarhaug y Skollerud (2014), los servicios de taxi se pueden dividir en tres categorías de mercado:

- Los mercados de clasificación utilizan las paradas de taxis existentes (o clasificaciones) para conectar a los pasajeros con los taxis. Estos funcionan de acuerdo a un modelo FIFO (primer en entrar, primero en salir) y tradicionalmente se asocian con terminales de autobuses, estaciones de metro, aeropuertos, etc.
- Los mercados de tránsito, los cuales operan con taxis que se desplazan por una ciudad en busca de pasajeros. Este movimiento crea incertidumbre en términos de tiempo de espera y calidad del servicio.
- Los mercados pre-reservados utilizan un despachador central que retransmite las llamadas de los clientes a los taxistas, ya sea para envío inmediato o para reservar un taxi por un tiempo en particular. Este es un mercado competitivo, ya que pueden ofrecer tiempos de espera bajos.

Debido a las formas de operación y las características particulares de estos tres mercados, los principales estudios sobre taxis corresponden a modelos que vinculan la rentabilidad del sector, el nivel de servicio, los efectos regulatorios, etc. (Salanova et al., 2011). En general, son modelos agregados, que apuntan a objetivos de planificación y toma de decisiones de mediano y largo plazo más a la operación (Cuevas et al., 2016; Salanova et al., 2014; Shi y Lian, 2016).

Para este caso de estudio se consideran los taxis como un servicio exclusivo al transporte de turistas, por lo que se tomará en cuenta la definición del mercado pre-reservados, debido a que se trabajará con pasajeros hoteleros.

El hotel otorga el servicio de facilitación de transporte, por lo que llama a una central de taxis para coordinar la solicitud de un vehículo que traslade a los pasajeros según sus requerimientos; ya sea desde el aeropuerto al hotel, viceversa, o desde el hotel hacia diversos centros turísticos o recreacionales de la ciudad. Por lo tanto en algunos casos el pasajero toma el servicio en cuanto lo necesite, mientras que en otros casos será indispensable reservar con anticipación el uso de un vehículo, para eso es necesario asegurar que el vehículo esté disponible a la hora deseada por el pasajero.

Los pasajeros asignarán diversas dificultades al servicio, ya sea limitando la capacidad o número de ocupantes que deben ser transportados, por lo que el problema se complejiza al tener que operar con una flota de vehículos heterogéneos. Otro problema a resolver es que se exija la realización del servicio dentro de un intervalo de tiempo determinado, por medio de una reserva anticipada del vehículo, lo que genera que sea de vital importancia trabajar con ventanas de tiempo para la asignación del servicio en el momento en que el pasajero lo requiera.

III. Revisión Bibliográfica

3.1. Problema de Ruteo de Vehículos (Vehicle Routing Problem VRP)

El problema de ruteo de vehículos (VRP) es un problema de optimización combinatoria y de programación entera (Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). 2002), el cual se puede describir como el problema de diseñar rutas de recolección de uno o varios depósitos a una cierta cantidad de clientes dispersos geográficamente (Laporte, G., 1992), en donde se puede determinar una serie de rutas para una flota de vehículos, desde uno o más depósitos con el fin de servir a dichos clientes (Toth y Vigo, 2014; Zachariadis et al., 2015). El objetivo principal de un VRP es minimizar un criterio de costo total, ya sea tiempo de viaje, distancia de viaje, costos fijos y costos variables (Braekers, K., & Janssens, G. K. 2018)

Existen muchas variantes de VRP, dependiendo del nivel de complejidad con el que se pretende gestionar la flota (Alexiou y Katsayounis, 2015; Keenan 2008; Pillac et al., 2013; Toth y Vigo, 2014; Zachariadis et al., 2015). Estas variantes han sido propuestas por diferentes autores con el fin de poder ajustar el problema a situaciones reales de transporte. La diferencia de estos problemas se centra principalmente en agregar variables y restricciones, según el problema que se requiera resolver.

A continuación se describirán los problemas de ruteo de vehículos utilizados en el desarrollo de este estudio.

3.2. Problema de Recogida y entrega (PDP)

Dentro de los problemas asociados a VRP, hay problemas de recogida y entrega (PDP), que es un problema de enrutamiento en el que los objetos o personas deben transportarse entre un origen y un destino (Berbeglia et al., 2010; Pillac et al., 2013). Los PDP se pueden dividir en tres grupos: problemas de muchos a muchos, problemas uno a muchos y problemas uno a uno (Berbeglia et al., 2007). Además, los problemas pueden ser estáticos o dinámicos, dependiendo de cuándo esté disponible la información (es decir, antes o después de la operación) (Berbeglia et al., 2010).

3.3. Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad (CVRP)

Otros de los problemas derivados de VRP es aquel que considera flotas de vehículos capacitados (CVRP) se conoce como la variante más básica y clásica del VRP (Hanum, F., Hartono, A. P., & Bakhtiar, T. 2018), además de ser uno de los modelos más estudiados en la investigación de operaciones (Pecin, D., Contardo, C., Desaulniers, G., & Uchoa, E. 2017).

Este modelo consiste en una flota de vehículos idénticos (homogéneos), ubicados en un depósito central, los cuales deben ser enrutados de manera óptima para abastecer a un conjunto de clientes con demandas conocidas (Caceres-Cruz, J., Arias, P., Guimarans, D., Riera, D., & Juan, A. A. 2015) cada vehículo puede realizar como máximo una ruta y la demanda total de los clientes, visitados en una ruta, no puede exceder la capacidad del vehículo (Baldacci, R., Mingozzi, A., & Roberti, R. 2012).

Una complejidad a este modelo es la utilización de flotas de vehículos heterogéneas, en donde los clientes son atendidos por una flota de vehículos con distintas capacidades, costos fijos y costos variables (Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C., & Taillard, É. D. 1999). Se supone que el número de vehículos de cada tipo es conocido y fijo, por lo que al resolver este problema se busca decidir cómo utilizar de buena forma la flota fija de vehículos heterogéneo (Li, F., Golden, B., & Wasil, E. 2007).

Otra variante que se le puede agregar a este modelo es contar con múltiples depósitos, en donde varios depósitos están disponibles para servir a los clientes, lo que se

conoce como problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos (MD-VRP) (Hanum, F., Hartono, A. P., & Bakhtiar, T. 2018).

3.4. Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de tiempo (VRPTW)

El Problema de enrutamiento de vehículos con ventana de tiempo (VRPTW) es una generalización del VRP (Desrochers, M., Desrosiers, J., & Solomon, M. 1992), donde el inicio del servicio debe tener lugar dentro de la ventana de tiempo definida por el cliente (Braekers, K., & Janssens, G. K. 2018). La incorporación de ventanas de tiempo hace que sea más difícil construir y mantener un conjunto factible de reglas, ya que es un problema del tipo “NP-hard” (Savelsbergh, M. W. 1992). Este problema busca rutas para los vehículos, al menor costo para satisfacer la demanda de los clientes que pueden ser visitados dentro de las ventanas de tiempo establecidas (Pecin, D., Contardo, C., Desaulniers, G., & Uchoa, E. 2017). Sin embargo, la introducción de ventanas de tiempo en los clientes, también permite la especificación de funciones objetivos más realistas, en comparación al mínimo de tiempo de finalización y la minimización de la duración de la ruta (Savelsbergh, M. W. 1992).

Los VRPWT se pueden categorizar en problemas con ventanas de tiempo hard (VRPHWT) o problemas con ventanas de tiempo soft (VRPSWT) (Xia, Y., & Fu, Z. 2018). En el caso de las ventanas de tiempo hard, si el vehículo llega antes del comienzo de la ventana de tiempo establecida por el cliente, está permitido esperar hasta que el cliente esté listo para recibir el servicio (Morales, M. A. V. (2007)). Sin embargo no se permite llegar después del fin de la ventana establecida por el cliente. En el caso de las ventanas de tiempo soft las restricciones de tiempo pueden ser infringidas, pero a un costo adicional (Ebensperger Palacios, M. J. 2009).

3.5. Turismo

El turismo es un fenómeno social, cultural y económico importante que incluye el movimiento de millones de personas en todo el mundo (Cenamor, I., de la Rosa, T., Núñez, S., & Borrajo, D. 2017), por lo que en los últimos años se ha convertido en uno de los sectores

económicos más importantes y de rápido crecimiento en la economía mundial (Seddighi, H. R., & Theocharous, A. L. 2002; Navickas, V., & Malakauskaite, A. 2009).

El turismo es un negocio que comprende muchos sectores de servicio (Otto, J. E., & Ritchie, J. B. 1996). Los principales servicios y productos que se ponen a disposición del cliente son: alojamiento, transporte, alimentación, traslados, arriendo de autos, circuitos turísticos, excursiones, paquetes turísticos, servicio de cruceros, seguros de viajes, entre otros².

En el sector turístico, el servicio hotelero puede denominarse producto-servicio ya que comparte las características propias tanto de los productos como de los servicios. El servicio hotelero se apoya tanto en elementos tangibles como intangibles (García, E. 2001), por lo tanto, servicio hotelero se refiere al conjunto de calidad, particularidades y beneficios condicionados que ofrecen los hoteles a sus huéspedes³, en donde Calidad: es la confianza que inspira el servicio; Particularidades: son las características físicas y de operación de un hotel, además de los servicios entregados; y los Beneficios Condicionados: son la esencia del servicio, pues se entienden como la satisfacción que proporciona el hotel a sus huéspedes⁴

El servicio de alojamiento es uno de los componentes fundamentales de la actividad turística, junto con los servicios de recreación, transporte, comunicación y alimentación (Morillo Moreno, M. C. 2007), ya que la duración de la estadía depende de la cantidad y tipo de servicios turístico ofrecidos (Morillo Moreno, M. C. 2009). La importancia del servicio hotelero, se presenta porque muchos hoteles no son solo sitios para dormir o pernoctar, sino que son considerados como atractivos turísticos los cuales incluyen gran variedad de servicios como restaurant, comercio, recreación (discotecas, piscinas, saunas, y otros), comunicación y transporte (Briceño, F. 2000). Los servicios ofrecidos al turista en el hotel pueden tener gran influencia, no solo en la percepción del turista sobre el hotel, sino también, sobre la ciudad o país visitado (Morillo Moreno, M. C. (2009).

Los turistas que visitan un destino por uno o varios días, se enfrentan al problema para decidir qué puntos de interés serían más interesantes de visitar (Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., & Pantziou, G. 2014), es por esto que los hoteles en donde

² <https://www.entornoturistico.com/tipos-de-servicios-y-productos-que-ofrecen-las-agencias-de-viajes/>

³ <https://www.city-of-hotels.es/165/servicios-hoteleros.html>

⁴ <https://prezi.com/eupnetlar7d3/servicios-hoteleros-1/>

se hospedan, deben mantener información actualizada sobre los destinos turísticos populares, así como también proporcionar guías turísticas útiles que satisfagan las preferencias de los usuarios (Cenamor, I., de la Rosa, T., Núñez, S., & Borrajo, D. 2017).

En este ámbito la movilidad es un tema esencial para los turistas que visitan las grandes ciudades (Albalate, D., & Bel, G. 2010). El servicio de transporte para turistas es fundamental, debido a que, además de la infraestructura turística y otros determinantes clásicos a la hora de seleccionar un lugar, la infraestructura de transporte es un determinante significativo (Khadaroo, J., & Seetanah, B. 2008).

El transporte y el turismo normalmente se consideran interdependientes y mutuamente beneficiosos (Candela, G., & Figini, P. 2012). El transporte promueve el desarrollo del turismo y este último, a su vez, impulsa la demanda de servicios de transportes adicionales (Dwyer, L., & Kim, C. 2003)

No se sabe con exactitud qué tipo de transporte es que el prefieren utilizar los turistas, puesto que ha habido poca investigación sobre el comportamiento de selección de modo de transporte de los turistas (Kelly, J., Haider, W., & Williams, P. W. 2007).

IV. Modelo matemático

4.1. Conjuntos.

Para realizar la formulación del modelo, se consideran los siguientes conjuntos:

- $G = (N, A)$ red de transporte conectada, donde N es el conjunto de nodos, y A es el conjunto de arcos de la red.
- $P \subset N$ es el conjunto de paraderos donde se encuentran los vehículos.
- $C \subset N$ es el conjunto de ubicaciones tales como hoteles, aeropuerto y centros turísticos, donde se encuentran los potenciales clientes. ($P \cup C = N$).
- K es el conjunto de vehículos que atenderán los requerimientos.
- $K3$ es el conjunto de vehículos con capacidad máxima de 4 pasajeros.
- $K4$ es el conjunto de vehículos con capacidad máxima de 8 pasajeros
- Q es el conjunto de requerimientos.

4.2. Parámetros.

Los parámetros asociados a la formulación del modelo, son los siguientes:

- $O^q =$ *Nodo de origen del requerimiento $q \in Q$.*
- $D^q =$ *Nodo de destino del requerimiento $q \in Q$.*
- $t_{ij} =$ *Tiempo de viaje entre cualquier par de nodos $i, j \in N$.*
- $a^q =$ *Ventana de tiempo inicial en el nodo de origen $O \in N$ del requerimiento $q \in Q$.*
- $b^q =$ *Ventana de tiempo final en el nodo de origen $O \in N$ del requerimiento $q \in Q$.*
- $m^q =$ *Tamaño del requerimiento $q \in Q$.*
- $n_k =$ *Indica la disponibilidad del vehículo $k \in K$.*
- $M =$ *Constante muy grande, con respecto a los parámetros del problema.*

4.3. Supuestos

- *El requerimiento $q \in Q$ está asociado a un nodo de origen $O^q \in C$ y a un nodo de destino $D^q \in C$.*
- *En cada paradero $p \in P$ opera un conjunto de vehículos $k \in K$.*
- *C_L y C_H son las penalizaciones relacionadas con esperas y retraso en el nodo de origen, respectivamente.*
- *El tamaño de un requerimiento $q \in Q$ está dado por m_q , en donde si la cantidad de pasajeros es ≤ 4 , entonces m_q tomará el valor 0. Mientras que si la cantidad de pasajeros es $]4,8]$ m_q tomará el valor de 1.*

4.4. Variables de decisión.

$$X_{ij}^{kq} \begin{cases} 1 & \text{Si el vehículo } k \in K \text{ va desde el nodo } i \in N \text{ hasta el nodo } j \in N \text{ para atender el requerimiento } q \in Q \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$$Y_p^{kq} \begin{cases} 1 & \text{Si el vehículo } k \in K \text{ atiende desde el paradero } p \in P \text{ al requerimiento } q \in Q \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$$W_p^{kq} \begin{cases} 1 & \text{Si el vehículo } k \in K \text{ esta en el paradero } p \in P \text{ para atender el requerimiento } q \in Q \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$L^q =$ Tiempo de espera en el nodo de origen del requerimiento $q \in Q$

$H^q =$ Tiempo de retraso en el nodo de origen del requerimiento $q \in Q$

4.5. Función objetivo y restricciones.

Para abordar el problema de asignación dinámica de vehículos, se define la siguiente función objetivo, la cual se aplica en cada aparición de un requerimiento $q \in Q$, buscando minimizar los tiempos de desplazamiento de un vehículo, lo que conlleva a: minimizar el tiempo de viaje del vehículo $k \in K$, en el arco $(i, j) \in A$; minimizar el tiempo de espera en el nodo de origen del requerimiento $q \in Q$ y minimizar el tiempo de retraso en el nodo de origen del requerimiento $q \in Q$.

$$\text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} t_{ij} X_{ij}^{kq} + C_L L^q + C_H H^q \quad \forall q \in Q \quad (1)$$

Restricciones

- Un vehículo $k \in K$ no puede atender un requerimiento $q \in Q$, si no hay vehículos disponibles en el paradero $p \in P$.

$$W_p^{kq} \geq Y_p^{kq} \quad \forall q \in Q, k \in K, p \in P / n_k = 1 \quad (2)$$

$$Y_p^{kq} = 0 \quad \forall q \in Q, k \in K, p \in P / n_k = 0 \quad (3)$$

- Cada requerimiento $q \in Q$ debe ser atendido sólo por un vehículo $k \in K$ desde un paradero $p \in P$.

$$\sum_{k \in K} \sum_{p \in P} Y_p^{kq} = 1 \quad \forall q \in Q \quad (4)$$

- Un requerimiento $q \in Q$ debe ser atendido por un solo vehículo $k \in K$. Para esto debe salir solo un vehículo, de todos los paraderos, a atender el requerimiento. El vehículo pasa todos los nodos respectivos para luego regresar al paradero $p \in P$ de origen.

$$X_{pO^q}^{kq} = Y_p^{kq} \quad \forall k \in K, \forall p \in P, \forall q \in Q \quad (5)$$

$$X_{O^q D^q}^{kq} \geq Y_p^{kq} \quad \forall k \in K, \forall p \in P, \forall q \in Q \quad (6)$$

$$X_{D^q p}^{kq} = Y_p^{kq} \quad \forall k \in K, \forall p \in P, \forall q \in Q \quad (7)$$

- Para un requerimiento $q \in Q$, el tiempo de llegada al destino D^q debe ser al menos igual al tiempo de salida del origen O^q más el tiempo de viaje directo entre O^q y D^q .

Las ventanas de tiempo en el origen (i) para cada requerimiento son:

$$\text{Origen: } a^q \leq t_i^{kq} \leq b^q$$

$$L^q \geq \left(a^q - t_{pO^q} - TT^q \right) X_{pO^q}^{kq} \quad \forall p \in P, \forall k \in K, \forall q \in Q \quad (8)$$

$$H^q \geq \left(t_{pO^q} + TT^q - b^q \right) X_{pO^q}^{kq} \quad \forall p \in P, \forall k \in K, \forall q \in Q \quad (9)$$

- Finalmente definimos la naturaleza de las variables

$$X_{ij}^{kq}, Y_p^{kq}, W_p^{kq} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in K, \forall p \in P, \forall q \in Q \quad (10)$$

$$L^q, H^q \quad \forall q \in Q \quad (11)$$

4.6. Algoritmo de Actualización

El modelo debe de ser resuelto cada vez que se realiza un nuevo requerimiento, es por esto que es necesario un algoritmo que permita actualizar la información y disponibilidad

de los vehículos en los paraderos. A continuación se define los parámetros y etapas del algoritmo:

4.6.1. Conjuntos algoritmo de actualización

- $Q2$ es el conjunto de requerimientos atendidos.
- $Q3$ es el conjunto de requerimientos que falta por atender.

4.6.2. Parámetros algoritmo de actualización

- *Contador*: Indica la cantidad de vehículos $k \in K$ disponibles para su uso.
- $q \in Q$: muestra el requerimiento actual que se está procesando.
- *Reserva*: Indica la cantidad de requerimientos $q \in Q$ que reservan con anticipación un vehículo $k \in K$.
- *Reserva 3*: Son todos los requerimientos $q \in Q$ que han realizado la reserva de un vehículo $k \in K$, dividiéndose en:
 - *Reserva 1*: Son aquellos requerimientos $q \in Q$ que solicitan reservar un vehículo $k \in K4$.
 - *Reserva 2*: Son aquellos requerimientos $q \in Q$ que solicitan reservar un vehículo $k \in K3$.
- *Reservado*: Indica si el requerimiento actual fue reservado con anterioridad.
- *un*: Indica el tiempo del requerimiento anterior.
- *tmax*: Indica el tiempo entre el paradero $p \in P$ y el origen del requerimiento O^q .
- *tmax2*: Indica el tiempo entre el origen O^q y el destino D^q , del requerimiento.
- *tmax3*: Indica el tiempo entre el destino D^q y el paradero $p \in P$ del vehículo $k \in K$.
- *reservnext*: Muestra la hora de la próxima reserva.

4.6.3. Ejecución del Algoritmo de actualización

Mientras quedan requerimientos por atender, se deben realizar los siguientes pasos:

Paso 0: Fijar datos iniciales

Si el tamaño del requerimiento $m_q = 1$, se inhabilita la disponibilidad de todos los vehículos $k \in K3$, en caso contrario, si el tamaño del requerimiento $m_q = 0$, se inhabilita la disponibilidad de todos los vehículos $k \in K4$.

Paso 1: Si el tiempo actual del requerimiento más el t_{max} es mayor al inicio de la ventana de tiempo del requerimiento $q \in Q$, pasar al paso 2, en otro caso pasar al paso 7.

Paso 2: Si el contador > 0 , indicando que hay vehículos disponibles, pasar al paso 3, en otro caso pasar al paso 6.

Paso 3: Si los autos reservados es menor a la cantidad de autos disponibles, pasar al paso 10, si la cantidad de autos reservados es igual a la cantidad de autos disponibles pasar al paso 4, en otro caso pasar al paso 6.

Paso 4: Verificar si el requerimiento actual ha sido programado (reservado), si es programado pasar al paso 10, si no pasar al paso 5.

Paso 5: Encontrar la hora del requerimiento programado (reservado) más cercano, si el tiempo actual más el tiempo máximo de paradero a origen más el tiempo entre origen y destino más el tiempo máximo entre destino y paradero es menor a la hora de requerimiento programado más cercano, pasar al paso 10, en caso contrario pasar al paso 6.

Paso 6: Indicar que el requerimiento no fue realizado por falta de disponibilidad de vehículos.

Paso 7: Verificar si el requerimiento ha sido programado con anterioridad, en caso de ser así pasar al paso 8, en caso contrario pasar al paso 9.

Paso 8: Fijar en 0 el inicio de ventana del requerimiento actual.

Paso 9: Cambiar la hora de requerimiento: Hora inicio de ventana – tiempo máximo entre paradero y origen.

Paso 10: Ejecutar el modelo.

La construcción de soluciones comienza en $TT = 0$. Cuando llega un requerimiento, se ejecuta el algoritmo de actualización. Las pruebas se realizaron utilizando AMPL-CPLEX para encontrar soluciones óptimas, en primer momento para instancias pequeñas que muestran la efectividad del modelo y posteriormente con todos los datos y valores relacionados al caso.

V. Caso de estudio

El caso de estudio se basa en la asignación de vehículos para el traslado de turistas los cuales se alojan en hoteles, por lo tanto el hotel les ofrece el servicio de facilitar y coordinar con una central de taxis un vehículo para movilizarlos hacia los diversos puntos de la ciudad que deseen visitar o se requieran desplazar, como por ejemplo:

- 1) Aeropuerto (A) – Hotel (H)
- 2) Hotel (H) – Aeropuerto (A)
- 3) Hotel (H) – Lugar Turístico (CT)
- 4) Lugar Turístico (CT) – Hotel (H)
- 5) Lugar turístico (CT) – Lugar Turístico (CT)
- 6) Hotel (H) – Centros recreacionales (CR)
- 7) Centros recreacionales (CR) – Hotel (H)

Para este estudio la visita a lugares turísticos comprende solo un punto de origen y un único punto de destino, como por ejemplo: desde el Hotel hasta solo un punto turístico a visitar. Con respecto a centro recreacionales, este concepto hace referencia al traslado de los pasajeros a casinos, restaurantes, centros comerciales y centros nocturnos, lo que implica que el pasajero realiza un requerimiento para el traslado de ida al centro recreacional y un requerimientos para programar el traslado de regreso al hotel, por lo que se programa el servicio de transporte definiendo un horario en la que el pasajero le acomode o requiera ser atendido para regresar al lugar donde se hospeda, por lo tanto se trabaja con ventanas de tiempo, por lo que se registra en la central de taxis el requerimiento, se asegura la reserva de un vehículo para el pasajero y el vehículo está disponible a la hora y lugar indicado por el pasajero.

Para este caso en particular, se realizó el estudio con una flota de vehículos heterogéneos, un modelo de vehículo con capacidad máxima de 4 pasajeros y otro con capacidad máxima de 8 pasajeros. Las asignaciones de los vehículos a los requerimientos se realizó según la cantidad de pasajeros que adquirieron el servicio, si la demanda del requerimiento era menor o igual a 4, se le asignaba el auto con menor capacidad, mientras que si la demanda del requerimiento era mayor o igual a 5, pero menor o igual a 8; a este requerimiento se le asignó el auto con mayor capacidad.

Se realizó un estudio de caso el cual permite medir el funcionamiento de una empresa servicios de transporte, considerando el modelo matemático y su algoritmo de actualización, descrito en la sección anterior. La metodología presentada se utilizó para evaluar el rendimiento de la empresa simulada en condiciones con y sin penalizaciones de tiempo de espera.

La compañía opera las 24 horas del día, los 365 días del año, con tres paraderos estratégicamente ubicados para ofrecer un servicio de calidad a sus clientes. No hay radio o zona de servicio exclusivo para su flota. Esto significa que los clientes no necesariamente serán tomados por un vehículo que se encuentre en la misma área donde se origina el requerimiento.

Al comienzo del turno, cada vehículo se encuentra en el paradero predeterminado y notifica al centro de operaciones que está disponible para comenzar a responder los requerimientos de los clientes. Cuando llega una llamada a la central de taxis, se solicita el

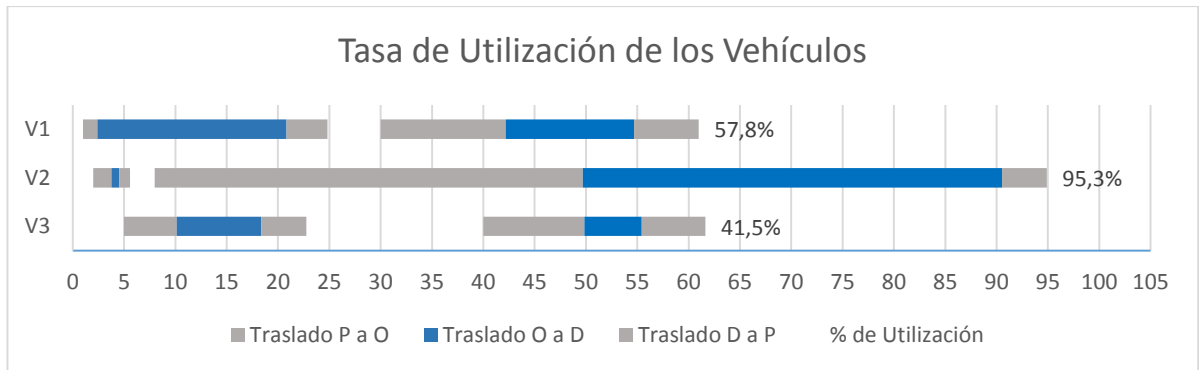
origen, el destino de la llamada y si ésta debe ser atendida de inmediato o en un horario específico, por lo que el cliente debe señalar si hay alguna restricción de tiempo (ventana de tiempo). Una vez que se registra esta información, desde el centro de operaciones se asigna un vehículo que esté disponible en algún paradero. Para determinar los tiempos de viaje, se supuso una red fuertemente conectada, donde el tiempo de viaje es linealmente proporcional a la distancia entre los puntos. Para evaluar el modelo, se consideró una instancia con 152 nodos (orígenes y destinos) y 19.900 arcos, en la que operan 15 vehículos, con una asignación previa de 5 vehículos por paradero. Cada paradero cuenta con 3 vehículos con capacidad máxima de 4 pasajeros y 2 vehículos con capacidad máxima de 8 pasajeros. Los tiempos entre cada punto se obtuvieron a partir de la distancia entre ellos, asumiendo que la velocidad de movimiento de los vehículos es de 50 km/hr.

La operación simulada de la empresa se llevó a cabo suponiendo que la asignación de vehículos para cada requerimiento se basó en la distancia y la capacidad solicitada para cada requerimiento. En otras palabras, se asignó cada llamada al vehículo más cercano, disponible, al origen de la llamada, y acorde a la cantidad de pasajeros que utilizaron el servicio. Esto significa que en la operación tradicional, para cada llamada, el tiempo de llegada desde el paradero al origen (es decir, el punto de recogida de pasajeros) se reduce al mínimo sin considerar tiempos totales o tiempos de retorno desde el destino hasta las respectivas estaciones de autos.

VI. Resultado

Para validar el correcto funcionamiento del modelo se realizaron varias pruebas en distintos escenarios y a diversos niveles de complejidad. En un principio se probó una instancia pequeña comenzando con tres vehículos y siete requerimientos, los vehículos primero fueron asignados a un mismo paradero y luego se probó distribuirlos en tres paraderos distintos alrededor de la ciudad, con el fin de verificar que el modelo asignara a un requerimiento un vehículo que estuviera lo más cercano posible al lugar de origen de la llamada. De esta forma se pudo comprobar la correcta asignación de vehículos, localizados en distintos paraderos, a los requerimientos que llegaran a la central de taxis.

Gráfico VI-1 Resultados Instancia 1



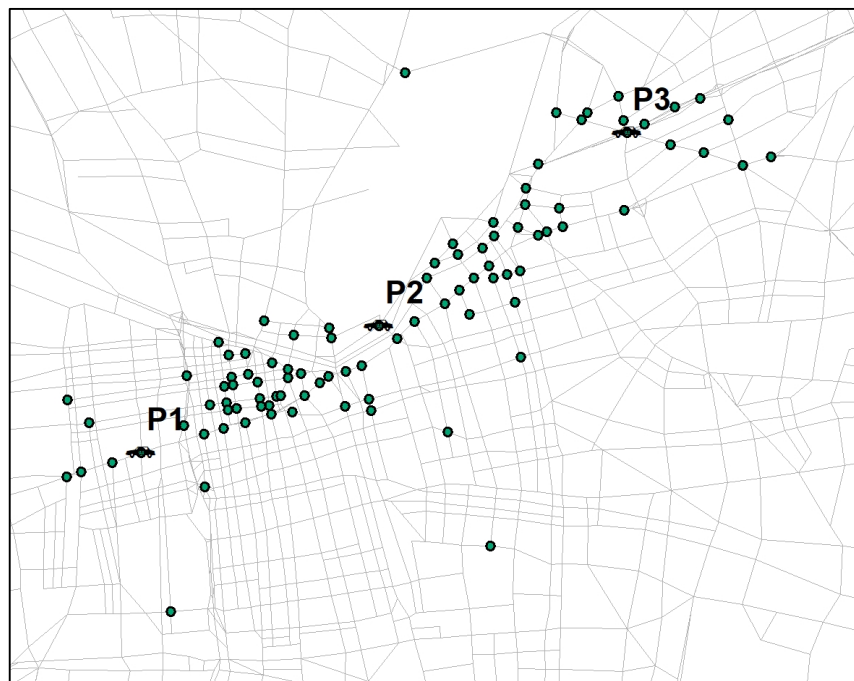
Fuente: Elaboración Propia

Luego se le agregó una complejidad al modelo de prueba inicial, utilizando vehículos con distintas capacidades (vehículos con capacidad máxima de 4 pasajeros y otros con capacidad máxima de 8 pasajeros) para poder identificar esta diferencia en el modelo, se le asignó a cada tipo de vehículos un valor numérico que representa estas capacidades, siendo “0” el valor que representa al vehículo más pequeño y “1” el valor que representa el vehículo con mayor capacidad. Al momento de ingresar un requerimiento a la central, se le consulta cuanto es la cantidad de pasajeros que utilizarán el servicio, por lo que fue necesario incorporar al modelo un parámetro que pudiera registrar el tamaño del requerimiento y así asegurar la asignación correcta de vehículos, en cuanto a su capacidad, para la realización del servicio, sin dejar de verificar que se asignara el vehículo más cercano al origen del servicio.

La última prueba realizada con la instancia inicial fue utilizar ventanas de tiempo, por lo que se le agrega mayor complejidad al modelo. Esto quiere decir que al momento de ingresar un requerimiento a la central de taxis el pasajero solicita el servicio y en ese momento determina si el servicio debe ser ejecutado en el instante en el que se está realizando la llamada, o si requiere que el servicio sea realizado a una hora específica o un día específico posterior a la realización de la llamada. Por lo tanto se definen ventanas de tiempo en el nodo de origen del requerimiento, para aquellos pasajeros que necesiten utilizar el servicio a una hora determinada del día, de esta forma se realiza una reserva de un vehículo con el fin de asegurar que el servicio será realizado.

Después de comprobar el funcionamiento del modelo en una instancia pequeña, se procedió a crear y probar el modelo con dos instancias más grandes. Para cada una de las instancias se utilizaron tres paraderos localizados en distintos puntos de la ciudad, como se muestra en la ilustración VI-1. Cada paradero cuenta con cinco vehículos (tres con capacidad máxima de cuatro personas y dos con capacidad máxima de ocho personas) trabajando con un total de quince vehículos para la realización de los servicios. Se generaron 40 llamadas en cada instancia, las cuales incluyeron las distintas capacidades de los vehículos, distintos tiempo de solicitud de los servicios incluyendo ventanas de tiempo múltiples y ajustadas al nodo de origen (inicio y final de la ventana de tiempo en el nodo de origen).

Ilustración VI-1 Ubicación Paraderos

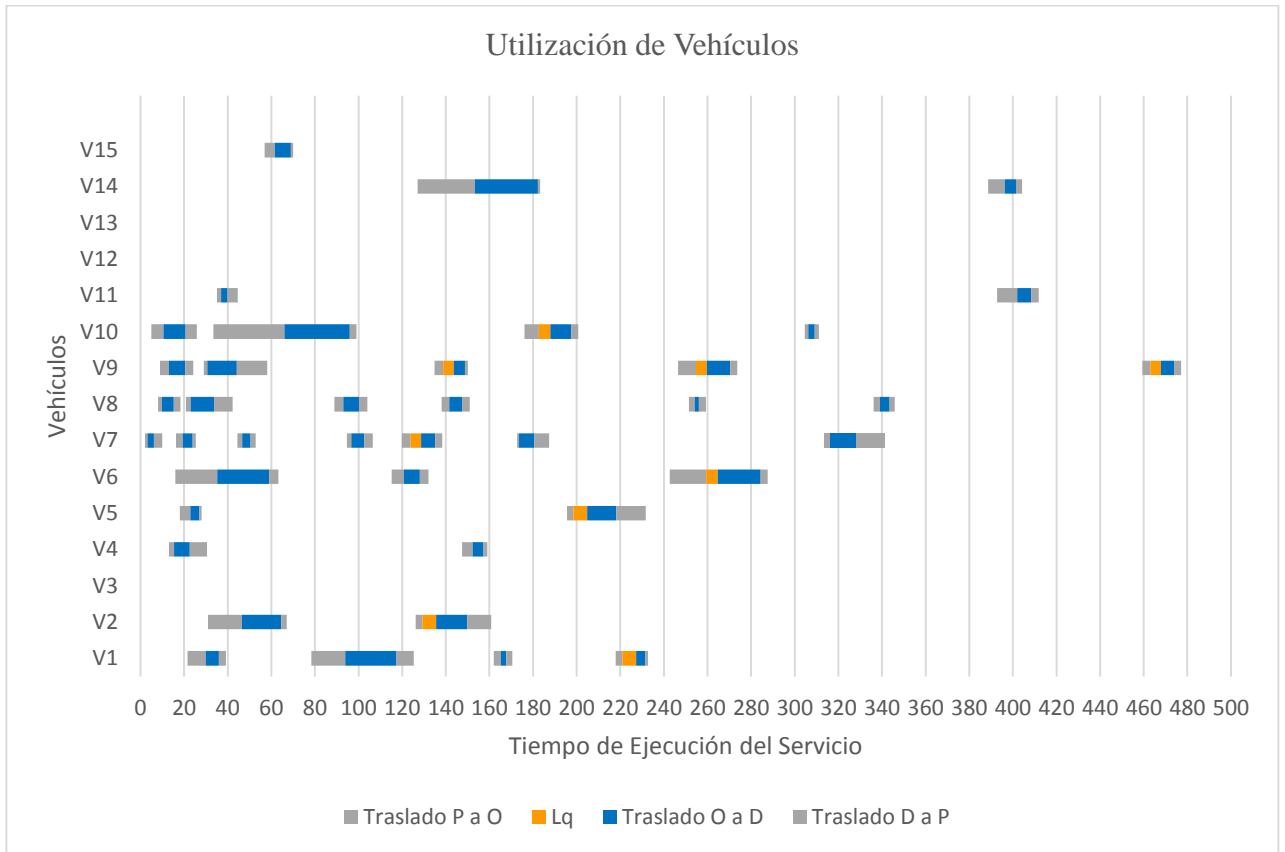


Fuente: Elaboración Propia

Para cada requerimiento que llegó a la central de taxis y se realizó el servicio (asignándole un vehículo) se consideró como una operación normal, es decir: llega el requerimiento, se le solicita el nodo de origen y se le asigna un vehículo que se encuentre en el paradero más cercano al nodo de origen.

Con el fin de visualizar los resultados obtenidos se utilizará la última instancia corrida en el modelo. A continuación en el gráfico VI-1 se muestra una representación que permite visualizar el comportamiento de la asignación de vehículos a los requerimientos.

Gráfico VI-2 Utilización de los Vehículos



Fuente: Elaboración Propia

La leyenda del gráfico tiene el siguiente significado:

Tabla VI-1 Explicación Leyenda del Gráfico

Traslado P a O	Representa los tiempos de traslado de un vehículo desde que sale del paradero hasta que llega al nodo de origen del Requerimiento.
LQ	Representa el tiempo de espera del vehículo, en el nodo de origen, en que el vehículo espera el arribo del pasajero.
Traslado O a D	Representa los tiempos de traslado de un vehículo con pasajero, desde el nodo de origen del Requerimiento, hasta el nodo de destino del Requerimiento.
Traslado D a P	Representa los tiempos de traslado de un vehículo, sin pasajero, desde el nodo de destino del Requerimiento, hasta el paradero designado al vehículo.

Fuente Elaboración Propia

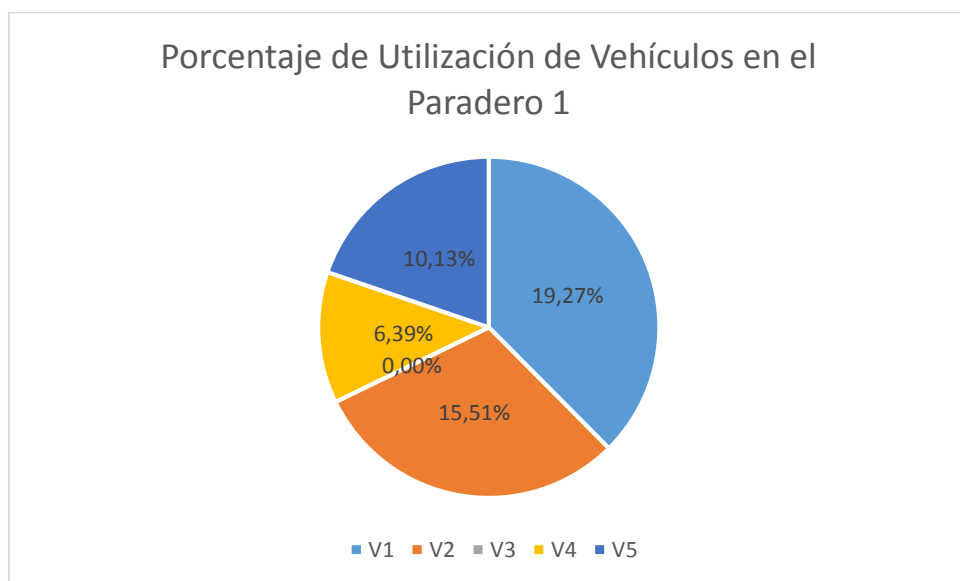
Es necesario mencionar que los vehículos V1, V2, V3, V4 y V5 son parte del primer paradero, los vehículos V6, V7, V8, V9 y V10 pertenecen al segundo paradero y por último los vehículos V11, V12, V13, V14 y V15 corresponden a los vehículos del tercer paradero.

A partir del gráfico obtenido se puede visualizar los tiempos de traslado de los vehículos con y sin pasajeros. Existen requerimientos en los que el vehículo debió esperar en el nodo de origen la llegada del pasajero (visualizado en el gráfico VI-2 color naranja), esto se debe a que para aquellos requerimientos que solicitaron el servicio con ventana de tiempo en el nodo de origen, el vehículo no se asigna inmediatamente al requerimiento sino que se reserva el vehículo y se programa la salida, desde su respectivo paradero, a un horario determinado de tal manera que esté disponible a la hora solicitada por el cliente; por lo tanto existe la posibilidad que el vehículo llegue un tiempo antes de la hora solicitada, por lo que debe esperar en el punto de origen el arribo del usuario. El modelo es ejecutado nuevamente cuando llega la hora en la cual se reserva el vehículo para la salida, de esta forma se asegura que no exista ningún riesgo de que no hayan vehículos disponibles a la hora solicitada por el cliente. Al momento de ejecutar el modelo comienza el tiempo de utilización del vehículo por concepto de traslado desde el paradero hasta el nodo de origen. Si el vehículo llega antes del

inicio de la venta de tiempo, en el nodo de origen, este debe esperar hasta que el cliente arribe a la hora indicada. Esto significa un aumento en los tiempos de la función objetivo, sin embargo este aumento de tiempo es lineal y no penalizado, ya que el modelo no permite que un vehículo llegue después del horario solicitado por el cliente, por lo que no existen penalizaciones por concepto de retraso, sino que sólo un aumento en el tiempo de utilización del vehículo. Este tiempo de espera afecta de forma positiva el nivel de servicio de la empresa debido a que el vehículo está disponible en el instante en que el cliente lo requiere y sin retrasos.

También se puede apreciar en el gráfico VI-2 que existen vehículos que no fueron utilizados, por lo tanto a continuación se presenta gráficamente la tasa de utilización de los vehículos con respecto a sus paraderos. Es necesario mencionar que el porcentaje de utilización de los vehículos se calculó en base al tiempo en los vehículos se mantuvieron utilizados para la realización de un servicio (desde que salen del paradero, hasta que regresan), versus el tiempo total de ejecución del modelo, quiere decir desde el minuto 0, hasta el minuto de finalización del servicio realizado para el último requerimiento.

Gráfico VI-3 Porcentaje de Utilización de vehículos del Paradero 1

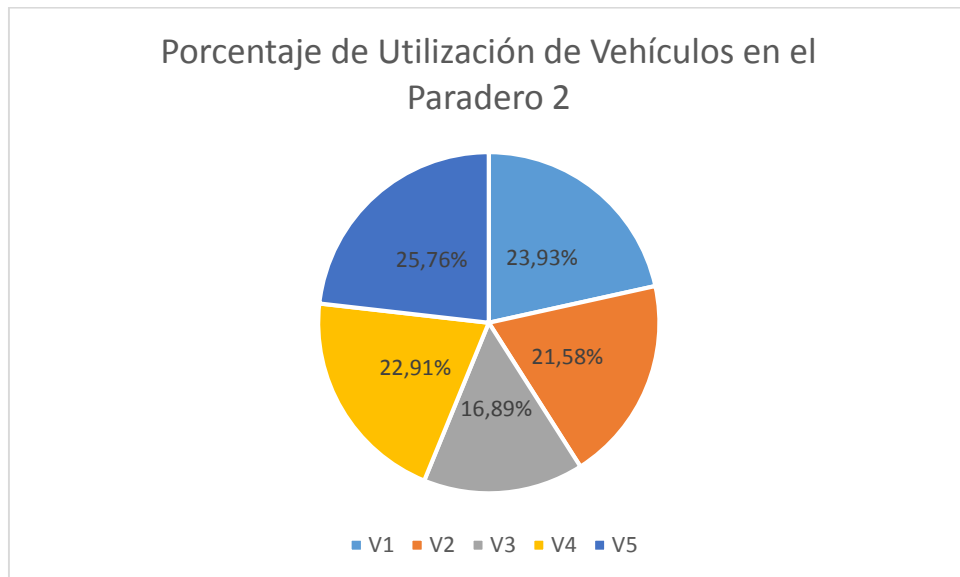


Fuente: Elaboración Propia

El gráfico VI-3 representa la tasa de utilización de los vehículos del paradero P1 durante el tiempo de ejecución del modelo, de aquí se puede concluir que el vehículo V3, el cual tiene una capacidad máxima de cuatro pasajeros, nunca fue utilizado para realizar el servicio, por lo tanto podría no ser necesario incluirlo en la flota disponible al paradero, ya que perfectamente el paradero puede funcionar con cuatro vehículos, quedando disponibles dos vehículos con capacidad máxima de cuatro pasajeros y dos vehículos con capacidad máxima de ocho pasajeros.

El vehículo V4, el cual tiene una capacidad máxima de ocho pasajeros, también tiene una baja tasa de utilización, pero si se observa el gráfico VI-2 en cuanto al uso de los vehículos V4 y V5, que son aquellos de la misma capacidad, en el caso que se decidiera sacar uno de ellos el problema sería que quedarían requerimientos sin ser atendidos, lo que perjudica directamente el nivel de servicio percibido por el cliente.

Gráfico VI-4 Porcentaje de Utilización de vehículos del Paradero 2



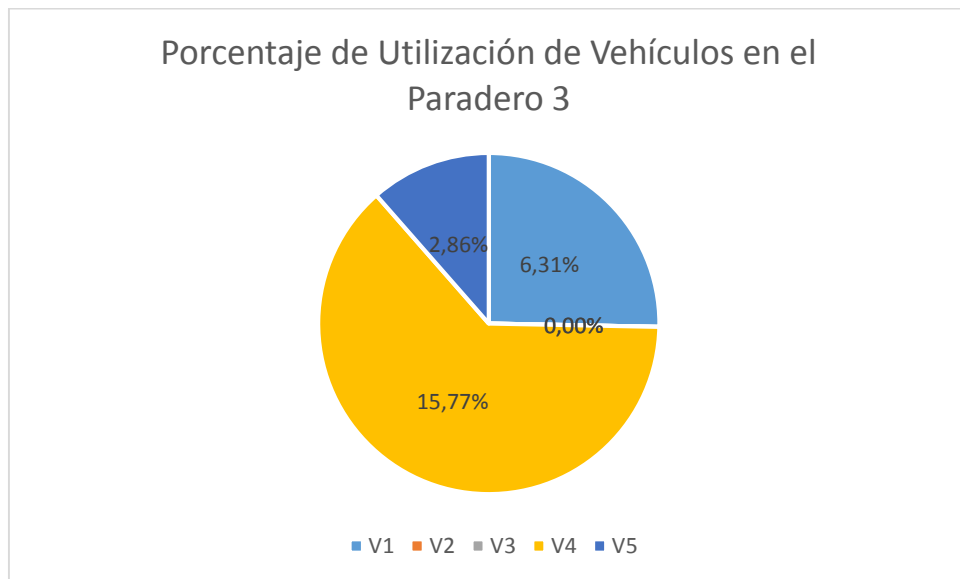
Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico VI-4 se puede apreciar que toda la flota de vehículos asignados a este paradero fueron utilizados más o menos en porcentajes similares. Si se observa la Ilustración

VI-2 se puede apreciar que el paradero P2 es el que se encuentra más céntrico y más cercano a los nodos, tanto de origen como de destino, en los cuales se pudiera encontrar algún cliente. En consecuencia el paradero P2 es un paradero con una ubicación estratégica por lo tanto es importante mantener una flota adecuada de vehículos de tal manera que logre cumplir con la mayoría de los requerimientos que llegan a la central de llamados, de esa forma poder mantener un alto el nivel de servicio entregado al cliente, asegurando que existen vehículos disponibles para la realización de los viajes.

El vehículo no utilizado en el paradero P1 podría pasar a formar parte de la flota del paradero P2, aumentando así la cantidad de vehículos disponibles en P2, por lo que se podría cubrir la realización de una mayor cantidad de requerimientos, disminuyendo el riesgo de no contar con vehículos para la realización de un servicio.

Gráfico VI-5 Porcentaje de Utilización de vehículos del Paradero 3



Fuente: Elaboración Propia

A partir del gráfico VI-5 se observa en el paradero P3 solo se utilizan tres vehículos durante el tiempo de ejecución del modelo. En este caso solo se utilizaron tres de los cinco vehículos disponibles en la flota asignada a este paradero. Los vehículos más

utilizados fueron los dos con capacidad máxima para ocho personas, pero analizando el gráfico VI-2 se puede concluir que es factible trabajar solo con un vehículo con capacidad de ocho personas, ya que aun así los requerimientos podrán ser atendidos. Por otro lado solo se utilizó un vehículo con capacidad máxima para cuatro personas.

Analizando la Ilustración VI-1, la ubicación del paradero P3 se encuentra casi en la periferia de la ciudad, pero permite llegar con facilidad y rapidez a aquellos clientes que se encuentren alejados de la zona céntrica de la ciudad, por lo tanto es importante mantenerlo y asegurar la llegada en un tiempo oportuno a los lugares de origen de los requerimientos. Con respecto a la cantidad de flota requerida, perfectamente podría funcionar con solo tres vehículos, pero con dos de capacidad pequeña y uno con capacidad máxima de ocho personas.

Por último, en el caso de que un requerimiento no pueda ser atendido por la falta de disponibilidad de vehículos, el modelo arrojará un mensaje indicando esta situación. Sin embargo un requerimiento programado con anterioridad (ventana de tiempo) siempre es atendido.

VII. Discusiones y conclusiones

En este estudio se desarrolló un modelo que permite realizar la asignación de vehículos enfocado al área turística, utilizando como base el clásico Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) con alguna de sus variantes como: el Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad (CVRP) y el Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW).

El estudio fue aplicado en la ciudad de Santiago de Chile, buscando asignar taxis a pasajeros hoteleros, los cuales requieren del servicio de transporte para poder movilizarse desde sus hoteles hacia diversos lugares turísticos, o viceversa, así como también el transporte desde o hacia el aeropuerto de la ciudad. El modelo considera tres paraderos, ubicados estratégicamente en distintos puntos de la ciudad, cada paradero cuenta con una flota de cinco vehículos, dentro de los cuales tres son de capacidad máxima de cuatro pasajeros y dos con capacidad máxima de ocho pasajeros, por lo que se resuelve el problema de asignar un

vehículo a un requerimiento de servicio, proveniente desde los hoteles. El objetivo es asignar un vehículo desde el paradero que se encuentre más cercano al nodo de origen del requerimiento con el fin de minimizar los tiempos de llegada al requerimiento, lo que permite maximizar el nivel de servicio entregado al cliente.

Los resultados muestran que se asigna un vehículo para cada requerimiento desde el paradero más cercano, lo que permite que el cliente cuente con un vehículo para su desplazamiento hacia el destino deseado, lo más pronto posible. Por otro lado cuando se genera un requerimiento el cual solicita el servicio para un horario determinado (con ventana de tiempo), lo que hace el modelo es generar una reserva para alguno de los vehículos disponibles en el paradero más cercano al nodo de origen del requerimiento, en un tiempo “ t ” (hora de solicitud del requerimiento menos el tiempo máximo de desplazamiento de un vehículo desde el paradero al origen del requerimiento) antes de que éste deba estar disponible para el cliente; esto permite cumplir con el servicio para ese pasajero a la hora exacta requerida, el modelo hace que el vehículo si o si este disponible en el horario solicitado por el cliente, por lo tanto existen ocasiones en que se genera un tiempo de espera del vehículo en el nodo de origen ya que llega antes del horario acordado. En el caso de que llegue un requerimiento para ser atendido en el momento y no existan vehículos disponibles, el modelo emite un mensaje el cual dice “*no existe vehículo disponible para atender el requerimiento*” por lo tanto no se realiza la asignación de vehículos, en consecuencia el servicio solicitado no es atendido.

Este estudio puede extenderse en varias direcciones, por ejemplo:

- Considerar el comportamiento de la llegada de los requerimientos como demanda estocástica.
- El recorrido de los pasajeros sea multidestino, permitiendo así generar un paquete de turístico con distintos lugares a visitar.
- Otra mejora podría ser que el taxi pueda regresar a un paradero distinto al paradero inicial, a su vez esto podría significar que los vehículos puedan ser asignados a otro requerimiento una vez que se finalizó el servicio, sin la necesidad de que vuelvan a algún paradero.

- Como mejora al modelo actual seria que el modelo asigne equitativamente requerimientos a la flota de vehículos disponibles en cada paradero, de tal forma que no queden vehículos sin ser utilizados.

VIII. Referencias

Aarhaug, J., & Skollerud, K. (2014). Taxi: different solutions in different segments. *Transportation Research Procedia*, 1(1), 276-283.

Albalate, D., & Bel, G. (2010). Tourism and urban public transport: Holding demand pressure under supply constraints. *Tourism Management*, 31(3), 425-433.

André, M. E. (1999). *Turismo urbano y la segmentación motivacional: aplicación econométrica a la ciudad de Barcelona, El* (Doctoral dissertation, Universitat de Barcelona)

Bai, R., Li, J., Atkin, J. A., & Kendall, G. (2014). A novel approach to independent taxi scheduling problem based on stable matching. *Journal of the Operational Research Society*, 65(10), 1501-1510.

Baldacci, R., Mingozzi, A., & Roberti, R. (2012). Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints. *European Journal of Operational Research*, 218(1), 1-6.

Braekers, K., & Janssens, G. K. (2018). A Fuzzy Measure of Vulnerability for the Optimization of Vehicle Routing Problems With Time Windows. In *Optimization Techniques for Problem Solving in Uncertainty* (pp. 167-197). IGI Global.

Briceño, F. (2000). *Turismo 2020. Ediciones IESA. Caracas.*

Butler, G., & Hannam, K. (2012). Independent tourist's automobilities in Norway. *Journal of Tourism and Cultural Change*, 10(4), 285-300.

Caceres-Cruz, J., Arias, P., Guimarans, D., Riera, D., & Juan, A. A. (2015). Rich vehicle routing problem: Survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(2), 32.

Cai, H., Zhan, X., Zhu, J., Jia, X., Chiu, A. S., & Xu, M. (2016). Understanding taxi travel patterns. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 457, 590-597.

Candela, G., & Figini, P. (2012). The economics of tourism destinations. In *The Economics of Tourism Destinations* (pp. 73-130). Springer, Berlin, Heidelberg.

Cenamor, I., de la Rosa, T., Núñez, S., & Borrajo, D. (2017). Planning for tourism routes using social networks. *Expert Systems with Applications*, 69, 1-9.

Cuevas, V., Estrada, M., & Salanova, J. M. (2016). Management of On-demand Transport Services in Urban Contexts. Barcelona Case Study. *Transportation Research Procedia*, 13, 155-165.

Desrochers, M., Desrosiers, J., & Solomon, M. (1992). A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *Operations research*, 40(2), 342-354.

Dwyer, L., & Kim, C. (2003). Destination competitiveness: determinants and indicators. *Current issues in tourism*, 6(5), 369-414.

Ebensperger Palacios, M. J. (2009). Una formulación para el problema de ruteo de vehículos con tiempos de viaje dependientes del tiempo para la actualización de rutas con información en tiempo real.

Falcón, H. S., Tacoronte, D. V., & Santana, A. G. (2016). La movilidad urbana sostenible y su incidencia en el desarrollo turístico. *Gestión y Ambiente*, 19(1), 48-62.

García, E. (2001). Calidad de servicio en hoteles de sol y playa. *España: Síntesis*.

Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., & Pantziou, G. (2014). A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems. *Journal of Heuristics*, 20(3), 291-328.

Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C., & Taillard, É. D. (1999). A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 26(12), 1153-1173.

Hanum, F., Hartono, A. P., & Bakhtiar, T. (2018, March). On the multiple depots vehicle routing problem with heterogeneous fleet capacity and velocity. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 332, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.

Hernández Ortiz, Y. A. (2016). Diseño de un Sistema de Ruteo de Vehículos con Múltiples Depósitos en Empresas de Transporte de Carga por Carretera.

Kelly, J., Haider, W., & Williams, P. W. (2007). A behavioral assessment of tourism transportation options for reducing energy consumption and greenhouse gases. *Journal of Travel Research*, 45(3), 297-309.

Khadaroo, J., & Seetanah, B. (2008). The role of transport infrastructure in international tourism development: A gravity model approach. *Tourism management*, 29(5), 831-840.

Kozak, M., & Rimmington, M. (1999). Measuring tourist destination competitiveness: conceptual considerations and empirical findings¹. *International Journal of Hospitality Management*, 18(3), 273-283.

Kümmel, M., Busch, F., & Wang, D. Z. (2016). Taxi Dispatching and Stable Marriage. *Procedia Computer Science*, 83, 163-170.

Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European journal of operational research*, 59(3), 345-358.

Le-Klaehn, D. T., & Hall, C. M. (2015). Tourist use of public transport at destinations—a review. *Current Issues in Tourism*, 18(8), 785-803.

Li, F., Golden, B., & Wasil, E. (2007). A record-to-record travel algorithm for solving the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 34(9), 2734-2742.

Morales, M. A. V. (2007) Desarrollo de un framework para el problema de ruteo de vehículos.

Morillo Moreno, M. C. (2007). Análisis de la calidad del servicio hotelero mediante la Escala de SERVQUAL Caso: Hoteles de Turismo del Municipio Libertador del Estado Mérida. *Visión gerencial*, 6(2), 269-297.

Morillo Moreno, M. C. (2009). Expectativas y percepciones del turista sobre el servicio hotelero. Caso: Hoteles de turismo del Municipio Libertador del Estado Mérida, Venezuela. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 19(55).

Navickas, V., & Malakauskaite, A. (2009). The possibilities for the identification and evaluation of tourism sector competitiveness factors. *Engineering economics*, 61(1).

Otto, J. E., & Ritchie, J. B. (1996). The service experience in tourism. *Tourism management*, 17(3), 165-174.

Pecin, D., Contardo, C., Desaulniers, G., & Uchoa, E. (2017). New enhancements for the exact solution of the vehicle routing problem with time windows. *INFORMS Journal on Computing*, 29(3), 489-502.

Salanova, J. M., Estrada, M., Aifadopoulou, G., & Mitsakis, E. (2011). A review of the modeling of taxi services. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20, 150-161.

Savelsbergh, M. W. (1992). The vehicle routing problem with time windows: Minimizing route duration. *ORSA journal on computing*, 4(2), 146-154

Seddighi, H. R., & Theocharous, A. L. (2002). A model of tourism destination choice: a theoretical and empirical analysis. *Tourism management*, 23(5), 475-487.

Shi, Y., & Lian, Z. (2016). Optimization and strategic behavior in a passenger-taxi service system. *European Journal of Operational Research*, 249(3), 1024-1032.

Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). *The vehicle routing problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.

Xia, Y., & Fu, Z. (2018). Improved tabu search algorithm for the open vehicle routing problem with soft time windows and satisfaction rate. *Cluster Computing*, 1-9.

Zhang, Y., Baldacci, R., Sim, M., & Tang, J. (2018). Routing optimization with time windows under uncertainty. *Mathematical Programming*, 1-43.

IX. Anexos

9.1. Algoritmo de Actualización

Repeat while $n(Q2) < n(Q)$

Fijar valores iniciales

 If $TT + \max(t_{pO})$ then

 If contador > 0

 If Reserva $<$ contador then

 Ejecutar Modelo

 Else If Reserva = contador then

 If $reserva_q = 0$ then

 Calcular Hora de proximo requerimiento programado (TTnext)

 If $TT2_q + \max(t_{pO}) + t_{OD} + \max(t_{Dp}) < TTnext$ then

 Resolver el modelo

 Else

 No hay disponibilidad de vehiculos

 End if

 Else

 Resolver el modelo

 End if

 Else

 No hay disponibilidad de vehiculos

 End if

 Else

 No hay disponibilidad de vehiculos

 End if

 Else

 If $reservado_q > 0$ then

$a2_q = 0$

 Else

$TT2_q = a2_q - \max(t_{pO})$

 End if

 End if

End

9.2. Tabla de Resultados

Tabla IX-1 Resultados

N°	q	TT(q)	P	V	O(q)	D(q)	a(q)	TD(k)	L(k)	OPF	NDH	VND
1	100	1			3000	2002	120	Reservado				-
2	101	2	2	57	2022	1002		8,0293008		8,0293008	10,029	57
3	102	5	2	60	2017	1005		20,7668604		20,7668604	25,767	57 / 60
4	103	8	2	58	2039	1019		10,298196		10,298196	18,298	57 / 60 / 58
5	104	9	2	59	2003	1014		15,2458596		15,2458596	24,246	57 / 60 / 58 / 59
6	105	12			2091	3000	30	Reservado				60 / 58 / 59
7	106	13	1	54	1014	1033		17,5260576		17,5260576	30,526	60 / 58 / 59 / 54
8	107	15	2	57	1024	2055		9,2064396		9,2064396	24,206	60 / 58 / 59 / 54 / 57
9	108	16	2	56	2073	1009		47,2589796		47,2589796	63,259	60 / 58 / 59 / 54 / 57 / 56
10	109	18	1	55	1011	1005		10,0203564		10,0203564	28,020	60 / 58 / 59 / 54 / 57 / 56 / 55
11	110	19	2	58	1022	2069		21,42468		21,42468	40,425	60 / 59 / 54 / 57 / 56 / 55 / 58
12	105.1	21,5903	1	51				17,5671408		17,5671408	39,157	60 / 59 / 54 / 57 / 56 / 55 / 58 / 51
13	111	25	2	59	2041	1010		29,116788		29,116788	54,117	60 / 54 / 56 / 55 / 58 / 51 / 59
14	112	28	2	60	2086	3000	60	65,5411404		65,5411404	93,541	54 / 56 / 55 / 58 / 51 / 59 / 60
15	113	31	1	52	2073	1046		36,0946512		36,0946512	67,095	56 / 58 / 51 / 59 / 60 / 52
16	114	35	3	61	1009	2102		9,6603216		9,6603216	44,660	56 / 58 / 51 / 59 / 60 / 52 / 61
17	115	40	2	57	2102	1001		8,4185652		8,4185652	48,419	56 / 58 / 59 / 60 / 52 / 61 / 57
18	116	45			3000	2095	200	Reservado				56 / 59 / 60 / 52 / 57
19	117	57	3	65	2060	1028		13,0211472		13,0211472	70,021	56 / 60 / 52 / 65
20	118	68			2019	3000	120	Reservado				60 / 65
21	119	70	1	51	2007	1033		46,90644		46,90644	116,906	60 / 65 / 51
22	120	80			2067	3000	150	Reservado				60 / 51
23	121	85	2	58	1037	2042		14,9820516		14,9820516	99,982	60 / 51 / 58
24	122	88	2	57	1045	2003		11,9180808		11,9180808	99,918	60 / 51 / 58 / 57

25	123	96	2	56	1033	2003		16,8546		16,8546	112,855	51 / 58 / 57 / 56
26	124	100			2012	3000	250	Reservado				51 / 56
27	125	108			2008	1003	138	Reservado				51 / 56
28	100.1	110,69	1	52				28,2391716	6,32392	34,5630948	145,248	51 / 56 / 52
29	118.1	111,13	2	57				13,590756	4,88014	18,4708944	129,597	51 / 56 / 52 / 57
30	126	115			3000	2033	200	Reservado				51 / 52 / 57
31	127	127	3	64	2010	1028		56,3075376		56,3075376	183,308	52 / 57 / 64
32	125.1	129,14	2	59				10,2655824	4,91341	15,1789892	144,321	52 / 57 / 64 / 59
33	128	130	2	58	2014	1012		12,9155784		12,9155784	142,916	52 / 64 / 59 / 58
34	129	138	1	51	1036	2037		8,5251864		8,5251864	146,525	52 / 64 / 59 / 58 / 51
35	120.1	138,04	2	60				19,2986376	5,34023	24,638868	162,681	52 / 64 / 59 / 58 / 51 / 60
36	130	145	1	54	1004	1006		11,5942308		11,5942308	156,594	52 / 64 / 51 / 60 / 54
37	131	160	2	57	2046	1007		14,6727816		14,6727816	174,673	64 / 60 / 57
38	116.1	190,69	1	55				29,8218	6,32392	36,1457232	226,831	55
39	126.1	190,69	1	51				8,4773772	6,32392	14,8013004	205,486	55 / 51
40	132	200			2087	3000	240	Reservado				55 / 51
41	132.1	217,91	2	56				39,648288	5,24866	44,8969504	262,810	55 / 56
42	124	236,81	2	59				22,1503896	4,96047	27,1108584	263,917	56 / 59
43	133	240	2	58	1012	1013		7,6983984		7,6983984	247,698	56 / 59 / 58
44	134	260	2	60	2088	1017		6,4256904		6,4256904	266,426	56 / 59 / 60
45	135	300	2	57	2100	1041		27,5811336		27,5811336	327,581	57
46	136	320			3000	2020	400	Reservado				57
47	137	322	2	58	2062	1001		9,6169092		9,6169092	331,617	57 / 58
48	138	330			1003	2008	370	Reservado				58
49	139	350			2058	3000	450	Reservado				
50	138.1	362,43	3	64				15,559386		15,559386	377,991	64
51	136.1	390,69	3	61				19,1074896	0,00031	19,1077968	409,793	61
52	139.1	441,51	2	59				12,826668	4,88018	17,7068504	459,215	59

Tabla IX-2 Leyenda Tabla de Resultados

N°	Número de servicios realizados.
Q	Requerimiento que es atendido.
TT(q)	Tiempo de llegada del requerimiento.
P	Paradero de salida del vehículo.
V	Vehículo asignado al requerimiento.
O(q)	Nodo de origen del requerimiento.
D(q)	Nodo de destino del requerimiento.
a(q)	Ventana de tiempo en el nodo de origen.
TD(k)	Tiempo total que el vehículo estuvo realizando el servicio.
L(q)	Tiempo de espera del vehículo en el nodo de origen.
OFP	Valor de la Función objetivo: Tiempo de traslado más tiempo de espera.
NDH	Tiempo restante del vehículo para finalizar el servicio.
VND	Vehículos no disponibles

Fuente: Elaboración

