



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE CARRERAS DE UNA EMPRESA DE RADIO TAXIS

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN**

RAFAEL ANDRÉS BENAVIDES ÁGUILA

**PROFESOR GUÍA:
SEBASTIÁN RÍOS PÉREZ
MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
NELSON BALOIAN TATARYAN
GONZALO NAVARRO BADINO
FELIPE AGUILERA VALENZUELA**

**SANTIAGO DE CHILE
2015**

REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE CARRERAS DE UNA EMPRESA DE RADIO TAXIS

El objetivo general de la memoria es mejorar el proceso de asignación de carreras de una empresa de radio taxis basado en información asociada a: la ubicación del pasajero, el estado y la localización de los vehículos de la flota en tiempo real; en base a un algoritmo de ruteo eficaz.

El contexto de este trabajo de título subyace en el rubro del transporte privado, en particular dentro del marco operacional de la empresa One Radio Taxi¹, elegida como caso de estudio. Se investigó en profundidad acerca del mecanismo utilizado en el proceso de asignación de carreras que implementa esta compañía, con el fin de definir y analizar los factores de mayor incidencia; para así, lograr identificar los diversos aspectos mejorables de dicho proceso.

En este proyecto se rediseñó el proceso de asignación, implementando dos mecanismos diferentes que realicen la asignación de cada solicitud de traslado, dependiendo de su naturaleza. Se definió que la característica más adecuada para categorizar las carreras es la diferencia de tiempo entre la hora en que ésta es solicitada y la hora en que se debe recoger al pasajero. Respecto al criterio anterior se definieron dos categorías de carrera, aquellas con ventanas superiores e inferiores a 12 horas. Por último, se estableció la distancia recorrida al día por la flota de la empresa, como el indicador primario de rendimiento. Este indicador posteriormente se utilizó para contrastar el desempeño de cada módulo de asignación implementado, con respecto a los resultados obtenidos en base al método utilizado por la empresa en cuestión. Culminado el proceso anterior, se definieron los diversos requisitos asociados al software de apoyo necesario para la implementación de cada rediseño planteado en relación a las categorías de solicitud de traslado. En base a estas se construyó un prototipo funcional asociado a cada mecanismo de asignación elaborado. Posterior a esto se procedió a diseñar y desarrollar diversas herramientas que permitieron llevar a cabo un proceso de simulación en base a información operacional de One Radio Taxi.

Durante la etapa final del proyecto se observó que cada módulo implementado presentó rendimientos superiores en relación a la distancia promedio recorrida por la flota para atender a un mismo número de carreras. El trabajo concluye habiendo desarrollado efectivamente un rediseño de proceso, con el objetivo de mejorar el mecanismo de asignación de una flota de radio taxi. Si bien el periodo de simulación se llevó a cabo bajo diferentes supuestos, debido a que estos fueron considerados de igual forma para la evaluación de cada mecanismo de asignación; la comparación entre cada uno es significativa en términos relativos. Se estableció como trabajo futuro recomendado la puesta en marcha de cada módulo y la integración de un servicio externo de georreferencia con el objetivo de mejorar la precisión del proceso de simulación.

¹ Seudónimo utilizado para proteger la información facilitada por la empresa estudiada en este trabajo.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a los profesores Sebastián Ríos y Nelson Baloian por su guía y apoyo a lo largo de este proceso. Así también, agradezco el apoyo de todos los integrantes de Fantáxico y One Radio Taxi, que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este proyecto.

Por último, doy las gracias a mi familia y amigos por su constante apoyo, que no sólo se limita a la realización de este trabajo, si no que va mucho más allá.

Tabla de Contenido

1. Definición del proyecto	1
1.1 Introducción	1
1.2 Medio ambiente del proyecto	2
1.2.1 Taxis en Chile	2
1.2.2 Radio taxis en Chile	4
1.2.3 Clientes de la industria	4
1.3 Descripción y justificación del proyecto	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Resultados esperados	7
1.6 Alcances	7
1.7 Apoyos institucionales	8
2. Marco teórico-conceptual y metodológico	9
2.1 Marco teórico-conceptual	9
2.1.1 Metodología de desarrollo de rediseño	9
2.1.2 Metodología de desarrollo de software en cascada con retroalimentación	10
2.1.3 Metodología para desarrolla el análisis de datos (CRISP-DM)	11
2.1.4 Introducción al problema PDP	12
2.1.5 Lenguaje unificado de modelado.....	13
2.2 Marco metodológico	14
2.3 Estado del arte	16
3. Análisis de la situación actual	21
3.1 Presentación de la empresa	21
3.2 Aspectos significativos del negocio	21
3.3 Sistemas tecnológicos utilizados	22
3.4 Descripción funcional del mecanismo de asignación previo al proyecto de automatización	23
3.5 Mecanismo de asignación previo al proyecto de automatización	24
3.6. Análisis de datos	31
3.6.1 Descripción de los datos	31
3.6.2 Estudio de la data disponible.....	33
3.6.3 Validación y calidad de la data.....	51
3.7 Identificación de aspectos mejorables	52

4. Rediseño.....	54
4.1 Criterio objetivo del rediseño	54
4.2 Rediseño del mecanismo de asignación	54
4.2.1 Mecanismo de asignación dinámica.....	54
4.2.2 Mecanismo de asignación estática.....	59
4.3 Operación conjunta	65
4.4 Elección de tecnologías	66
4.5 Beneficios del rediseño	68
4.6 Sistema de asignación post rediseño	69
5. Análisis y diseño de software	70
5.1 Análisis de requerimientos funcionales	70
5.1.1 Especificación del software	70
5.1.2 Actores involucrados.....	72
5.1.3 Diagramas de casos de uso	72
5.1.4 Casos de uso.....	73
5.2 Diseño del software.....	76
5.2.1 Diagramas de secuencia	76
5.2.2 Diagramas de actividades	79
5.3 Modelo de datos	81
5.4 Arquitectura del sistema.....	81
5.5 Simulación	83
5.5.1 Simulación asignación dinámica.....	83
5.5.2 Simulación asignación estático.....	86
6. Resultados y Conclusiones.....	89
6.1 Análisis de resultados obtenidos.....	89
6.2 Conclusiones y trabajo futuro	96
Bibliografía	98

Índice de figuras

Figura 1: Distribución porcentual según tipo de taxi (RM).	3
Figura 2: Diagrama del proceso de asignación actual.	25
Figura 3: Interfaz de solicitudes de traslado SmartTaxi.....	26
Figura 4: Interfaz de asignación y gestión de carreras en SmartTaxi.	27
Figura 5: Interfaz de actividad en tiempo real de la flota en Fantáxico.....	28
Figura 6: Interfaz de notificación en Fantáxico Aplicación Móvil.....	29
Figura 7: Interfaz información de carrera en Fantáxico Aplicación Móvil.	29
Figura 8: Interfaz de registro inicial de una carrera en Fantáxico Aplicación Móvil.	30
Figura 9: Interfaz desplegada al final de una carrera en Fantáxico Aplicación Móvil.....	30
Figura 10: Traslados mensuales realizados.....	33
Figura 11: Demanda Abril, Mayo y Junio 2014.....	35
Figura 12: Demanda normalizada Abril, Mayo y Junio 2014.	36
Figura 13: Distribución de la demanda por comuna de origen, Abril 2014.....	37
Figura 14: Distribución de la demanda por comuna de destino, Abril 2014.	38
Figura 15: Distribución porcentual en relación a la demanda de traslados entre comunas (RM).	39
Figura 16: Distribución de la demanda porcentual por comuna de origen, Abril 2014.....	40
Figura 17: Distribución de la demanda porcentual por comuna de destino, Abril 2014.....	41
Figura 18: Distribución porcentual de la demanda por tipo de ventana y día, Abril 2014.....	42
Figura 19: Distribución porcentual promedio de ganancias por tipo de ventana, Abril 2014.....	43
Figura 20: Porcentaje según tamaño de ventana respecto al total de solicitudes por horario.....	44
Figura 21: Porcentaje de Pre- asignación de carreras según tamaño de ventana.	45
Figura 22: Porcentaje de asignación de carreras según tamaño de ventana.	46
Figura 23: Porcentaje de atraso según tamaño de ventana.....	48
Figura 24: Porcentaje promedio de duración de carreras respecto al total, según el tamaño de ventana.....	49
Figura 25: Distribución porcentual según duración de la carrera y hora del día, Abril 2014.....	50
Figura 26: <i>Diagrama BPMN de la estrategia de asignación de carreras con ventanas de tiempo menores a 12 horas.</i>	55
Figura 27: Diagrama de asignación de carreras con ventanas de tiempo superiores a 12 horas.	59
Figura 28: Diagrama de componentes del sistema de asignación dinámico.	69
Figura 29: Diagrama de componentes del sistema de asignación estático.....	69
Figura 30: Diagrama de casos de uso del módulo de asignación dinámico.	72
Figura 31: Diagrama de casos de uso del módulo de asignación estático.....	73
Figura 32: Diagrama de secuencia de sistema de asignación dinámico.	77
Figura 33: Diagrama de secuencia de sistema de asignación estático.	78
Figura 34: Diagrama de actividades módulo de asignación dinámico.....	79

Figura 35: Diagrama de actividades módulo de asignación estático.....	80
Figura 36: Diagrama de relación de entidades de la base de datos utilizada.....	81
Figura 37: Diagrama de distribución del sistémica posterior a la integración de los módulos de asignación dinámica y estática.	82
Figura 38: Diagrama de actividades del Software construido.	84
Figura 39: Diagrama de relación de entidades módulo simulación asignación dinámica.	85
Figura 40: Diagrama de actividades asociado a la software que calcula la distancia recorrida por la flota de One Radio Taxi en base a su mecanismo de asignación.	87
Figura 41: Diagrama de relación de entidades relativo a los datos facilitados por la empresa.	88

Índice de tablas

Tabla 1: Datos de registro y caracterización de solicitudes de traslado.	31
Tabla 2: Atributos de registro de asignación.....	32
Tabla 3: Atributos de registro sobre el estado de los móviles de la flota.....	32
Tabla 4: Tiempo promedio con que cada móvil se presenta en la ubicación de recogida del pasajero.	47
Tabla 5: Proporción entre tipo de cliente en relación a servicios de traslado por día de la semana, Abril 2014.	51
Tabla 6: Notación y parámetros modelo programación mixta entera.	63
Tabla 7: Caso de uso UC-AD 1.....	74
Tabla 8: Caso de uso UC-AD 2.....	74
Tabla 9: Caso de uso UC-AD 3.....	74
Tabla 10: Caso de uso UC-AD 4.....	75
Tabla 11: Caso de uso UC-AE 1.....	75
Tabla 12: Caso de uso UC-AE 2.....	75
Tabla 13: Caso de uso UC-AE 3.....	76
Tabla 14: Resultados obtenidos mediante simulación asociado al módulo de asignación dinámico.....	89
Tabla 15: Resultados asociados a la simulación del mecanismo de asignación usado por One Radio Taxi.....	90
Tabla 16: Tabla comparativa entre en módulo de asignación dinámica y la distancia recorrida por la flota de móviles de One Radio Taxi.....	91
Tabla 17: Resultados del proceso de simulación asociado al módulo de asignación estática.....	93
Tabla 18: Resultados asociados a la simulación del mecanismo de pre asignación usado por One Radio Taxi.....	94
Tabla 19: Comparación entre la distancia recorrida y el número de vehículos usados en el mecanismo de asignación estático empleados por One Radio taxi y el modelo propuesto.....	95

1. Definición del proyecto

A lo largo de este capítulo se introducirá al lector al problema abordado durante el presente trabajo, el contexto en el que este está inserto, así como también a los diferentes objetivos y resultados que se espera alcanzar tras su realización.

1.1 Introducción

El importante desarrollo que han tenido las tecnologías de comunicación durante los últimos años ha abierto las puertas para que las empresas desarrollen herramientas de localización geográfica de menor costo. Debido a lo anterior, han surgido diversos servicios que, a través de la utilización de tecnología GPS y la integración con dispositivos móviles, entregan valor a sus usuarios mediante el uso de su ubicación geográfica en tiempo real (*Vandermeer, 2001*).

En relación al rubro del transporte, desde el surgimiento de la producción en masa, se ha vuelto cada vez más importante el desarrollo de sistemas capaces de optimizar el proceso de recolección y despacho de productos. En particular se han invertido esfuerzos considerables estudiando e investigando los problemas de programación y ruteo logístico (*XU Zhengchuan, YUAN Yufei, JIN Huiliang, LING Hong 2005*). Estos temas son particularmente importantes para empresas asociadas a industrias como: radiotaxis, vehículos de emergencia o servicios de mensajería, entre otros.

La integración de la información asociada a la ubicación de los diferentes vehículos que componen una flota, ha dado lugar a la investigación e implementación de servicios capaces de resolver problemas de asignación y programación de rutas en tiempo real.

Con respecto a la industria de los radio taxis, o taxis ejecutivos, han surgido diferentes empresas que desarrollan herramientas tecnológicas que, en base a variados criterios, intentan resolver el problema de ruteo. Uno de los primeros sistemas desarrollados de este tipo fue Zingo. Este servicio implementado en Londres realiza la asignación entre una persona, que solicita un traslado vía telefónica, y el taxi de una empresa en particular que se encuentre más cerca de la persona; todo esto en base a tecnología GPS (*Transport 2003*). Un caso similar es el Sistema de Localización y Despacho Automático de Vehículos desarrollado en Singapur en base a tecnologías de localización satelital (*XU Zhengchuan, YUAN Yufei, JIN Huiliang, LING Hong 2005*). Por último cabe mencionar, que uno de los sistemas más completos y sofisticados, asociado a la industria de los radio taxis actualmente es Echo Operational and Scheduling Platform desarrollada por la compañía rusa Magenta. A diferencia de los sistemas anteriores, esta plataforma considera factores como: la experiencia del conductor, las preferencias de los choferes en relación al tipo de ruta, prioridad del cliente, la posibilidad de imprevistos

como congestión de las calles, entre varios otros (*Andrey Glaschenko, Anton Ivaschenko, George Rzevski, Petr Skobelev 2009*).

Hoy en día existen aproximadamente 5000 vehículos radio taxis en Chile, asociados a diversas empresas que brindan servicios de transporte de pasajeros (*Fantáxico 2013*). A pesar que las empresas relacionadas a este rubro conocen de la existencia de sistemas asociados a la optimización de asignación de carreras², ninguna hace uso de ellos, y en remplazo, un locutor realiza la asignación de carreras en base a sistemas de información. Dentro de las posibles razones de esta postura se encuentran: la incertidumbre en relación a si este tipo de herramientas son capaces de adaptarse adecuadamente a las condiciones locales y a las altas tarifas cobradas por las empresas desarrolladoras.

Es debido a lo anterior que Fantáxico, empresa que ofrece instrumentos de monitoreo a diferentes flotas de taxis en base a tecnología GPS, ha decidido llevar a cabo un proyecto de investigación en relación a este tema, con el objetivo de rediseñar el proceso de asignación de carreras buscando hacerlo más eficiente.

1.2 Medio ambiente del proyecto

1.2.1 Taxis en Chile

Actualmente en Chile se pueden ofrecer servicios de transporte de pasajeros en taxi en cuatro modalidades³:

- **Taxi básico:** Puede trasladar un máximo de cuatro pasajeros simultáneamente entre un punto de origen y uno de destino, los cuales son determinados arbitrariamente por sus ocupantes. El cobro asociado a este tipo de servicio se compone en un cobro base fijo y uno variable, en relación al tiempo y/o distancia recorrida durante la carrera. Este tipo de taxi puede recoger pasajeros en la calle y los vehículos pertenecientes a esta categoría son de color negro y amarillo.
- **Taxi colectivo:** Puede trasladar un máximo de cuatro pasajeros simultáneamente dentro de una ruta particular designada con anterioridad mediante un proceso de licitación. El costo precio asociado al servicio depende únicamente de la proporción de la ruta recorrida por cada pasajero, estando delimitada por un valor mínimo y máximo asociado al recorrido.

² Se entiende carrera como el proceso de recoger y llevar a una persona a su destino.

³ Decreto 188, TRANSPORTES D.O. 08.02.2000

- **Taxi turismo:** Atiende carreras principalmente asociadas a puntos de interés turístico como hoteles, aeropuerto, entre otros. Los puntos de origen y destino de las carreras atendidas son determinados por sus pasajeros. Cuentan con una tarifa establecida por el ministerio de transporte y los vehículos de esta categoría deben ser de color azul.
- **Taxi ejecutivo:** Al igual que los taxis básicos, los taxis ejecutivos poseen una tarifa en base a un cobro fijo y uno variable, las que en ambos casos son mayores. Este tipo de taxi no recoge pasajeros de la calle, sino que sus carreras son pre asignadas con anterioridad. Los vehículos pertenecientes a esta categoría no tienen un color predeterminado y su capacidad máxima de transporte de pasajeros depende únicamente del modelo de automóvil utilizado.

Hoy en día la existe un parque de 100.586 taxis en Chile, de los cuales 40.772 ofrecen sus servicios en la Región Metropolitana; alcanzando el 40,5% del parque nacional. A continuación se muestra gráficamente la distribución porcentual según modalidad de servicio de la industria de taxis asociada de la Región Metropolitana de Chile.

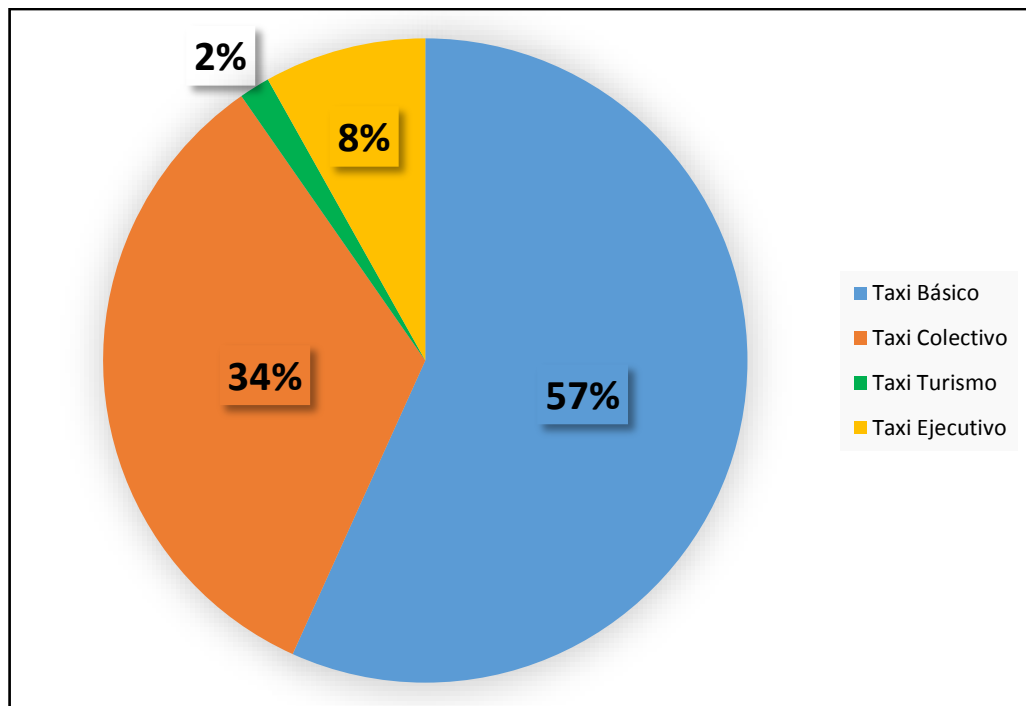


Figura 1: Distribución porcentual según tipo de taxi (RM).

(Fuente: Registro Nacional de Servicios de Transporte de Pasajeros, Subsecretaría de Transportes, 31 de mayo de 2014)

1.2.2 Radio taxis en Chile

En la actualidad hay 4.772⁴ taxis ejecutivos en Chile, también conocidos como radio taxis. De la totalidad del parque de taxis ejecutivos nacional, 3.314 opera dentro de la región metropolitana, alcanzando el 69% de la oferta nacional. Para operar como taxi ejecutivo en Chile se debe participar y ser aceptado dentro de un proceso de licitación llevado a cabo por la Subsecretaría de Transportes de Chile.

Con el fin obtener el derecho de taxi licitado se deben cumplir los siguientes requisitos asociados al vehículo⁵:

1. Contar con un vehículo de no más de tres años de antigüedad.
2. Poseer una carrocería de cuatro puertas y dos corridas de asientos.
3. Que el vehículo haya sido originalmente construido con sistemas de: aire acondicionado, cierre centralizado y alza vidrios eléctricos en sus cuatro puertas.
4. Utilizar un motor cuya cilindrada sea igual o superior a los 1600cc.
5. Que el automóvil licitado no se haya usado previamente como taxi en ninguna de las cuatro variaciones.

Además de lo anterior, para poder operar como taxi ejecutivo en Chile se debe estar asociado a una de las 321 empresas de taxis ejecutivos actualmente inscritas dentro del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. La flota promedio de este tipo de compañía es de 12 vehículos.

1.2.3 Clientes de la industria

A diferencia de las demás modalidades de taxis, los taxis ejecutivos son una alternativa de traslado tanto a personas naturales como a empresas de diferente índole, siendo las segundas las que acaparan la mayor cantidad de servicios de esta industria.

Es debido a lo anterior, que la mayoría de las compañías de radio taxis se enfocan en este tipo de cliente, intentando diferenciarse de su competencia con el objetivo de

⁴ Registro Nacional de Servicios de Transporte de Pasajeros – Subsecretaría de Transportes, 31 de mayo 2014.

⁵ Licitación de taxis 2013, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Subsecretaría de Transportes.

cerrar la mayor cantidad de contratos y fijar así, niveles de demanda fijos para su flota de vehículos.

Por su parte, las empresas que buscan contratar este tipo de servicios, intentan resolver de la mejor manera sus necesidades de transporte; por lo que es común en la industria que se llame a licitación a varias empresas de radio taxi; las que compiten entre sí por cerrar contratos que les brinden exclusividad de servicios por un periodo determinado de tiempo. Así también, es común que las firmas que requieren de este tipo de servicios establezcan niveles de servicio mínimos que las compañías de radio taxi deban cumplir. Entre los más comunes se encuentran: facilidades de pago, un tamaño de flota mínimo, una flota con diferentes categorías de vehículos, disponibilidad continua de servicio y estándares de contabilidad.

1.3 Descripción y justificación del proyecto

Fantáxico es una empresa que, a grandes rasgos, ofrece servicios de monitoreo GPS a diferentes compañías de radio taxis, mediante la utilización de software instalado en el teléfono móvil de cada conductor. En base a estos instrumentos, la empresa ha generado grandes volúmenes de datos en relación al tiempo y posicionamiento de cada vehículo. Actualmente esto le permite a la compañía entregarle información acerca de la ubicación y estado de cada radio taxi asociado a sus clientes, la que es utilizada al momento de la asignación de carreras; además de entregar facturas detalladas a las empresas que contratan los servicios de transporte asociados a la empresa.

En particular, Fantáxico busca realizar un trabajo de investigación y desarrollo en relación al proceso de asignación de carreras que cada uno de sus clientes lleva a cabo de forma manual. Esto, tiene como objetivo, el desarrollar un sistema computacional, adaptado a las necesidades generales de cada cliente de la compañía, capaz de resolver adecuadamente el problema de asignación de carreras en tiempo real. Para ello se analizarán los factores considerados por el locutor en el proceso de asignación de carreras actual, para luego, en base a éstos y a la información asociada a la ubicación de clientes y vehículos, definir al menos dos criterios de asignación de rutas. Una vez definidos e implementados se podrá ejecutar un sistema de simulación capaz de comparar los resultados obtenidos por cada criterio con respecto al mecanismo de asignación actual. De esta forma, Fantáxico no solo podrá ofrecer un sistema que automatice la asignación de carreras, o en el peor caso, de apoyo para el para el locutor, sino que, será capaz de contar con información respecto a la simulación del proceso, la que permitirá estimar el grado de eficiencia asociado a la adopción del sistema.

Una vez concluido el proyecto, Fantáxico, podrá integrar a su sistema actual un módulo de asignación de carreras que le permitirá a la empresa: aumentar la capacidad de su flota, reducir los costos asociados a recorridos sin pasajeros y reducir la rotación del personal asociado a su flota. De esta forma, la empresa logrará mejorar su calidad de servicio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

El objetivo general de la memoria es mejorar el proceso de asignación de carreras de una empresa de radio taxis basado en información asociada a: la ubicación del pasajero, el estado y la localización de los vehículos de la flota en tiempo real; en base a un algoritmo de ruteo eficaz.

1.4.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos que se plantean son los siguientes:

- Estudiar el proceso actual de asignación de carreras llevado a cabo por el cliente de Fantáxico, One Radio Taxis y, determinar factores mejorables relevantes para la empresa.
- Búsqueda y selección de un algoritmo o heurística adecuada para realizar el proceso de asignación de carreras eficazmente, dados los requerimientos de One Radio Taxis.
- Diseñar e implementar un producto mínimo funcional que permita implementar los algoritmos y/o heurísticas para la asignación de carreras de radiotaxis, integrándose con el software de la empresa Fantáxico.
- Definir los indicadores que reflejarán el potencial aumento de eficiencia de la flota en relación a una eventual puesta en marcha del software desarrollado.
- Evaluar a modo de prueba de concepto el desempeño del sistema desarrollado en base a una ventana de tiempo acotado; respecto al mecanismo de asignación existente.

1.5 Resultados esperados

Los principales resultados a obtener tras la realización de este proyecto son:

- Identificación y validación de factores mejorables dentro de proceso de asignación de carreras de Radio Taxi One.
- Selección e implementación de un módulo de asignación automática en base al estado del arte analizado.
- Elaboración de un levantamiento de requerimientos del nuevo sistema de asignación automática.
- Implementación de una estructura de base de datos acorde a los requerimientos de entrada del sistema de asignación de carreras, que pueda funcionar conjuntamente con la base de datos actualmente utilizada por el sistema de geoubicación utilizado por Fantáxico.
- Construcción de un software capaz de intercomunicarse con los sistemas Fantáxico y SmartTaxi, con el objetivo de obtener y entregar los datos necesarios para la alimentación de un módulo de asignación automática de carreras.
- Construcción de los indicadores de rendimiento de la flota de vehículos de Radio Taxi One.
- Realización de una prueba de concepto del software construido en base a un subconjunto de los vehículos de la flota de Radio Taxi One para una ventana de tiempo acotada.
- Evaluación del impacto del sistema de asignación automática, en base a los indicadores de rendimiento definidos.

1.6 Alcances

Durante este proyecto se realizarán todos los estudios pertinentes en base a los datos facilitados por la compañía Fantáxico en relación a uno de sus clientes, Radio Taxi One. Este set de datos estará compuesto por el conjunto de solicitudes de servicio de

transporte asociadas a los distintos clientes de Radio Taxi One, así como las ubicaciones geo-espaciales de cada uno de los radio taxi de su flota, para un periodo de tiempo de nueve meses.

Es en base a este conjunto de datos específico, que se realizarán los estudios pertinentes, para diseñar e implementar un sistema de asignación de carreras capaz de integrarse al servicio de geo-ubicación actualmente ofrecido por Fantáxico.

Una vez desarrollado el sistema, los resultados entregados por este serán evaluados, utilizando determinados indicadores de desempeño. Para llevar a cabo lo anterior, se realizará una prueba de concepto del sistema, acotando la ventana de tiempo de uso del sistema y/o la cantidad de vehículos de la flota utilizados.

Luego de finalizada la etapa de evaluación del sistema se dará por terminado el proyecto, y será única y exclusivamente decisión de la empresa Fantáxico, la posibilidad y responsabilidad, de implementar este sistema en las distintas flotas de radio taxi perteneciente a sus clientes.

1.7 Apoyos institucionales

El Centro de Investigación en Inteligencia de Negocios (CEINE) del Departamento de Ingeniería Industrial apoya el desarrollo de esta tesis consiguiendo el apoyo de la empresa Fantáxico y al mismo tiempo colaborando en el desarrollo de la misma.

La empresa Fantáxico se compromete a ser un agente facilitador de conocimiento asociado al rubro de los radio taxis en Chile, con el objetivo de llevar a cabo este proyecto. Entre sus compromisos está facilitar la interacción entre el desarrollador de este trabajo y los clientes que considere, puedan facilitar la recopilación de datos y evaluación de resultados, asociados al sistema de asignación de carreras.

La compañía Radio Taxi One se compromete a proporcionar datos asociados a los servicios realizados y las geo-ubicaciones de su flota de radio taxis en relación al periodo que sea necesario para el proyecto, con el fin de facilitar la implementación del mismo.

2. Marco teórico-conceptual y metodológico

A continuación se revisarán diferentes metodologías significativas para el correcto desarrollo del proyecto. En primer lugar se describirá una metodología para llevar a cabo rediseño de procesos, metodología en base a la que se estructuró este trabajo debido a la naturaleza de la problemática que engloba el proyecto. Posteriormente se describirán metodologías de desarrollo de software y de exploración de datos en base a las que se realizó este trabajo práctico. Además de lo anterior, se introducirá al lector al Pick Up and Delivery Problem (PDP) con el fin de familiarizarlo con la problemática central abordada; y por último se presentará el Lenguaje de Modelado Unificado utilizado durante la última etapa de este trabajo.

En base a todo lo anterior se definió una metodología de trabajo para este proyecto, la que será presentada a continuación; para concluir dándole a conocer al lector el estado del arte asociado al problema abordado.

2.1 Marco teórico-conceptual

2.1.1 Metodología de desarrollo de rediseño

El rediseño de procesos de negocio tiene como objetivo determinar e implementar medidas, a través del entendimiento y análisis de sus diferentes componentes, para generar mejoras significativas en indicadores claves asociados a una actividad productiva. A continuación se describirán brevemente las cinco macro etapas asociadas a esta metodología.

- **Definición del proyecto:** Durante esta etapa se debe definir tanto el objetivo general como los específicos del proyecto, además de los resultados esperados. Se busca también tener claridad acerca del medio ambiente en que se desarrollará el proyecto, los recursos disponibles y generar así un plan de ejecución.
- **Análisis de la situación actual:** Durante esta fase se debe definir, modelar y validar la situación actual asociada a un proceso, en base a la recopilación de datos e información, con el objetivo de generar un diagnóstico de esta.
- **Re Diseñar:** Se establecen los cambios a realizar en la secuencia de actividades que componen al proceso original, generando un nuevo modelo del proceso. El

nuevo modelo debe ser debidamente especificado y evaluado, concluyendo con la fase de prueba del mismo.

- **Análisis y diseño de software de apoyo:** Se deben especificar los requerimientos del software necesarios para la implementación del nuevo diseño, previamente definido. Cada requisito debe ser analizado, para que al culminar la presente etapa, se cuente con un software debidamente diseñado y modelado.
- **Desarrollo de Software:** Se debe implementar el software diseñado en la etapa precedente.
- **Prueba del Software:** Durante esta fase se debe proceder a verificar el correcto funcionamiento del software construido.
- **Implantación:** Finalmente se debe instalar y configurar el software construido, además de realizar los diferentes cambios especificados en la definición del proceso de re diseño. Una vez realizado lo anterior se deben ejecutar pruebas con el fin de verificar el correcto funcionamiento tanto de los cambios asociados al proceso, como aquellos relacionados al software desarrollado.

2.1.2 Metodología de desarrollo de software en cascada con retroalimentación

Esta metodología provee una estructura secuencial de actividades que permite separar en etapas y ordenar el proceso de construcción de software. Al ser una metodología con retroalimentación, permite corregir errores volviendo a etapas anteriores, aunque siempre se debe intentar ceñir únicamente al desarrollo lineal, con el objetivo de evitar retrasos en los tiempos designados para cada etapa del proyecto. Esta metodología se puede separar en varias etapas que se describen a continuación:

- **Estudio de factibilidad:** Se analiza y define si se cumplen las condiciones mínimas para el desarrollo del proyecto. En particular se evalúa si se cuenta con los recursos necesarios para lograr satisfacer las exigencias del proyecto.

- Especificación de requisitos: Durante esta etapa se deben definir los requisitos funcionales, no funcionales y asociados al proceso de desarrollo y mantenimiento del software.
- Diseño: El objetivo de esta fase es describir como el software logrará satisfacer los requisitos definidos previamente. Se debe definir la arquitectura del sistema a desarrollar, indicando los diferentes módulos que le componen, junto con las funcionalidades de cada uno
- Codificación: Consiste en implementar los diferentes módulos definidos en la etapa de diseño. Al finalizar esta fase, se debe contar con la totalidad de los módulos implementados y probados.
- Integración y prueba del sistema: Las componentes desarrolladas separadamente se unen para formar el sistema final. Una vez integradas las distintas partes se debe realizar el proceso de prueba de software completo.
- Instalación: Durante esta fase se debe instalar la aplicación desarrollada a un grupo selecto de usuarios, a modo de prueba final. Una vez realizada la validación final, se debe proceder a distribuir el software a la totalidad de usuarios finales.
- Mantenimiento: Dentro de esta etapa se llevan a cabo todas las actividades posteriores a la instalación del software. Dentro de estas actividades se puede encontrar el desarrollo de nuevas funcionalidades o la corrección de errores no detectados previamente.

2.1.3 Metodología para desarrolla el análisis de datos (CRISP-DM)

El modelo Cross-Industry Standard Process for Datamining (Crisp-DM) es una metodología que permite desglosar las diferentes fases asociadas a la realización de un proyecto de minería de datos. Estas son:

- Entendimiento del negocio: Se busca definir el problema de minería de datos en base al entendimiento de requerimientos y objetivos relevantes para ser llevados

a cabo en un proyecto, enfocado a generar conocimiento que aporte valor a un negocio determinado.

- Entendimiento de los datos: Se recolecta el set de datos inicial, es necesario explorarlo y familiarizarse con el para luego identificar cualquier potencial problema asociado a la calidad del conjunto de datos.
- Preparación de los datos: Se deben identificar las tablas, registros y el conjunto de atributos que serán utilizados a lo largo del proyecto. Una vez seleccionados se deben llevar a cabo procesos de limpieza y transformación de datos, con el fin de incrementar la calidad de la data.
- Modelamiento: Selección y aplicación de las técnicas de modelamiento que serán utilizadas durante el proyecto. En esta fase se debe calibrar los parámetros del modelo seleccionado y establecer mecanismos de evaluación para los resultados entregados posteriormente.
- Evaluación: Se evalúan los resultados entregados por el modelo implementado. Se analiza si estos permiten alcanzar los objetivos de negocio planteados inicialmente y de no ser así, se revisan los pasos llevados a cabo con el fin de identificar los errores durante el proceso.
- Puesta en marcha: Determinación de la forma en que los resultados serán presentados al usuario final con la finalidad que este logre comprenderlos e interpretarlos de manera sencilla. Se busca estandarizar el proceso llevado a cabo con el objetivo de que este sea repetible.

2.1.4 Introducción al problema PDP

El PDP o Pick and Delivery Problem es un problema amplia y extensamente estudiado durante las últimas tres décadas, debido a su importancia práctica (Quan Lu, Maged Dessouky 2002). Este problema se encuentra clasificado como un problema NP-complejo⁶ por su alta complejidad computacional.

⁶ Al menos tan complejo como NP, pero no necesariamente NP.

El PDP consiste en una flota de vehículos que tiene como objetivo satisfacer un conjunto de solicitudes de transporte de carga, realizada por un grupo de usuarios o clientes. Cada vehículo de la flota cuenta con una capacidad límite fija. Las solicitudes realizadas por el conjunto de clientes están definidas por un punto de recogida y entrega de la carga, además de la cantidad de carga a ser transportada. En este problema se considera que una solicitud fue recogida cuando toda la carga especificada en ésta se encuentra dentro del vehículo, mientras que solo se considera despachada cuando toda la carga de esta se encuentra en el punto de entrega. El objetivo del problema planteado es minimizar el costo total de la flota de vehículos, satisfaciendo al mismo tiempo la demanda total realizada por el conjunto de clientes. El costo asociado al transporte de carga incluye el costo fijo asociado al uso de cada vehículo además del costo variable asociado a cada viaje.

Existen múltiples variaciones de este problema que han sido estudiadas. Algunas de estas contemplan la inclusión de ventanas de tiempo, mientras que otras introducen restricciones con respecto a la cantidad de vehículos que componen la flota. En base al PDP se realizarán los estudios asociados a este trabajo, en relación al problema de asignación carreras para el caso particular de flotas de radio taxis.

2.1.5 Lenguaje unificado de modelado

El lenguaje unificado de modelamiento, más conocido como UML por su sigla en inglés, es en esencia una forma gráfica de describir sistemas de software. En particular el UML es el lenguaje de modelado más utilizado en la actualidad.

Cuando se desea utilizar el lenguaje UML para describir un sistema, en general hay dos enfoques de UML que se pueden utilizar. Estos se conocen como UML de boceto y UML de plano. Cuando se utiliza el UML de boceto la principal idea es transmitir una idea, para lo que no es necesario ser extremadamente específico ni tener conocimientos avanzados de programación. Por el contrario, el enfoque de plano busca a ser lo más específico posible, y describir los distintos componentes de un sistema de forma tal, que un programador pueda interpretar sin ambigüedades las diferentes especificaciones modeladas.

El lenguaje UML ofrece diferentes mecanismos que permiten describir y modelar un sistema informático. A lo largo de este proyecto se utilizarán diversas herramientas provistas por este estándar, para describir las diferentes piezas de software que sea necesario diseñar e implementar para alcanzar los diferentes objetivos de este.

2.2 Marco metodológico

Se optó por estructurar este proyecto de memoria en base a la metodología de desarrollo de rediseño, ya que es la que mejor se adapta a la naturaleza del problema abordado y ofrece mayor coherencia estructural en la presentación del trabajo realizado. No obstante, la metodología elegida para llevar a cabo el trabajo práctico utiliza principalmente el modelo CRISP-DM⁷. A continuación se describe cada una de las fases metodológicas utilizadas para el desarrollo del proyecto:

Comprensión del negocio de Fantáxico y Radio Taxi One

Se tratarán de identificar los objetivos de negocio de cada empresa y comprender su situación actual para, de esta forma, determinar objetivos de estudio alineados con los de ambas empresas, buscando así, desarrollar un plan de trabajo en relación al proyecto.

Entendimiento de la data entregada por Fantáxico

Se recolectarán todos los datos pertinentes para el desarrollo del proyecto. Una vez realizado esto se procederá a describir y explorar los datos, con el objetivo de determinar su calidad.

Preparación de los datos

Se seleccionará el set de datos a utilizar a durante las siguientes fases del proyecto en relación a su importancia para alcanzar los objetivos de éste. Se realizaran técnicas de limpieza de datos con el propósito de mejorar su calidad, para luego construir nuevos atributos e indicadores necesarios para el desarrollo del trabajo. Una vez realizados dichos procedimientos se integrará esta nueva data a estructuras de almacenamiento, que faciliten una potencial transformación posterior que simplifique los procedimientos de modelamiento asociado a las siguientes etapas.

Modelamiento

Se procederá a elegir los algoritmos y/o heurísticas capaces de realizar la asignación de carreras en tiempo real, de manera efectiva y acorde a los objetivo del proyecto. Se diseñará e implementará un mecanismo capaz de analizar la calidad de los resultados entregados por el modelo seleccionado en base a datos de prueba. Una vez

⁷ Cross-Industry Standard Process for Data Mining

realizado lo anterior se implementará el modelo seleccionado para finalmente interpretar la información entregada por este.

Evaluación

Se evaluará el desempeño del modelo elegido en base a un set de datos reales y al mecanismo implementado en la fase anterior. Se analizará la calidad de la información generada por el modelo y si los resultados obtenidos permiten alcanzar los objetivos del proyecto. En caso de no ser así, se determinarán las razones por las que este modelo es deficiente.

Puesta en marcha

Dado los alcances del proyecto esta etapa quedará fuera del desarrollo del trabajo realizado.

Debido a que durante la cuarta etapa de la metodología se llevará a cabo el desarrollo de un software, se ha seleccionado al Modelo de Cascada con Retroalimentación como metodología de desarrollo. A continuación se describe cada una de las etapas asociada a este modelo, aplicables al caso.

Análisis de requisitos

Se definirán todos los requisitos del software a desarrollar, los que serán sintetizados en un documento de especificación de requisitos.

Diseño del sistema

En base a los requerimientos definidos durante la etapa anterior se generará el diseño de un sistema que incluya el software y hardware necesario para cumplir con el objetivo del proyecto.

Implementación

En base al diseño establecido en la etapa previa se dividirá el sistema completo en diferentes unidades, las que serán implementadas y probadas de manera secuencial.

Integración y Testing

Durante esta fase se integraran todas las unidades funcionales construidas en la etapa anterior, para finalizar la elaboración del sistema completo. Una vez finalizada su construcción el sistema deberá ser probado y analizado como un todo. Al culminar esta etapa se procederá con el paso 5 de la metodología CRISP-DM.

2.3 Estado del arte

Actualmente en Chile y el mundo el servicio ofrecido por compañías de radio taxi es de vital importancia para el rubro empresarial, ya que entrega una alternativa de transporte puerta a puerta a través una amplia gama de vehículos gestionados por una entidad central; lo que facilita el desplazamiento de los funcionarios en zonas densamente pobladas, mientras que al mismo tiempo, brinda tarifas estandarizadas y mecanismos de facturación convenientes para las compañías. Desafortunadamente y pese a lo anterior, las flotas de radio taxis son extremadamente ineficientes, al punto que hasta un 50% del tiempo operacional se utiliza en recorridos sin pasajeros o esperando la asignación alguna carrera (*Shih-Fen Cheng y Thi Duong Nguyen 2011*). El mejorar la eficiencia operacional de una flota de radio taxis es una tarea extremadamente difícil, no tan solo por la complejidad del problema en sí mismo, sino que también, debido al conflicto de intereses que emerge entre los conductores de la flota y la entidad centralizada que la controla.

Al modelar el funcionamiento de una flota de radio taxis manejada por una entidad central se puede observar que, varios de los problemas⁸ asociados a la gestión de la flota corresponden a problemas de optimización combinatoria, los que son notoriamente difíciles de resolver, incluso, en un contexto estático (*Maurizio Bielli, Alessandro Bielli y Riccardo Rossi 2011*). Debido a lo anterior además del escaso tiempo de procesamiento que disponen las centrales de radio taxis para asignar recorridos, es que durante muchos años se ha dependido de agentes humanos que realicen la asignación de carreras. Gracias al avance de las telecomunicaciones y de la tecnología GPS, sumado al desarrollo de meta-heurísticas potentes y logros dentro del estudio de la computación distribuida e inteligencia artificial, se han llegado a desarrollar paulatinamente sistemas capaces de abordar este tipo de problema con un nivel de eficiencia cada vez más significativo. En la actualidad, el mayor obstáculo para el manejo eficiente de flotas de radio taxi es la necesidad de manejar datos generados de forma estocástica (*Crainic 2009*).

Dentro de las metodologías que surgieron dentro de la industria, con el objetivo de solucionar la complejidad del problema de asignación de ruta y los requisitos de tiempo en que los recorridos deben ser distribuidos, surge la asignación de recorridos por radio.

⁸ Entre estos se encuentran: problemas de ruteo, asignación de carreas y diseño de la red entre otros.

Para utilizar este tipo de sistema un cliente debe llamar a una central asociada a una empresa de radio taxis especificando su ubicación y la hora en la que necesita que lo recojan. Hecho lo anterior un locutor en la central transmite por radio la solicitud efectuada por el cliente, la que es recibida por cada vehículo perteneciente a la flota de la empresa. Habiendo escuchado el mensaje transmitido por la central y considerando su cercanía con la ubicación del pasajero, además de sus propias necesidades de trabajar, cada conductor puede manifestar su intención de realizar el recorrido. En el caso de existir más de una respuesta por parte de los choferes de la flota, el locutor debe ejecutar la asignación mediante algún criterio estandarizado. Si bien este tipo de metodología de asignación de carreras permite garantizar la satisfacción de transporte por parte de los clientes de la compañía, no puede garantizar la puntualidad con que un pasajero será recogido especialmente en la hora de mayor congestión vehicular (*Han Wang 2009*). En algunos casos a este tipo de metodología de asignación se le ha asociado un incremento en la rotación⁹ de conductores debido a que en muchos casos llegan a la convicción de que el locutor realiza la asignación de recorridos de manera parcial favoreciendo a otros choferes.

Con el objetivo de reducir la rotación y manejar flotas de radio taxis que abarcan amplias zonas geográficas como ocurre en las grandes metrópolis del planeta, nace el sistema de asignación de recorridos en base a sub regiones. Este enfoque sub divide grandes áreas geográficas en diferentes zonas o regiones, las que cuentan con flotas de vehículos temporalmente ubicados dentro de éstas. De tal forma cada vez que un conductor entra a una sub región reporta su ingreso por radio, tras lo que la central registra su entrada a la zona y lo agrega a una lista de radio taxis disponibles dentro del área, la que es ordenada por hora de ingreso, para luego, al momento que un cliente solicite un recorrido con origen en la sub región, asignar al conductor que se encuentre primero en la lista de ingreso. Si bien este enfoque soluciona varios de los problemas asociados a la metodología anterior también posee diversas limitaciones. Dentro de estas se encuentra el hecho que un pasajero puede eventualmente solicitar un traslado desde una sub región que no posea radio taxis disponibles forzando que el locutor deba asignar la carrera a vehículos de zonas adyacentes. Esta necesidad inevitablemente introduce desorden e ineficiencia al sistema, ya que en muchos casos es difícil predecir el tráfico y las condiciones del camino para efectuar el cambio de región (*Alshamsi 2009*). Además de lo anterior al comenzar a familiarizarse con el flujo de pasajeros asociados a las diferentes sub regiones, cada conductor eventualmente comienza a favorecer zonas en donde piensa existe una mayor cantidad de solicitudes de traslado y filas más cortas, en muchos casos dejando zonas constantemente desocupadas.

Otro enfoque que se ha utilizado para la asignación de carreras de radio taxis es la asignación basada en GPS. Este tipo de metodología es la más popular actualmente debido a su alto grado de eficacia y eficiencia (*Han Wang 2009*). Durante los últimos años se han construido diferentes sistemas de asignación de recorridos basados en la ubicación en tiempo real de cada vehículo de la flota en su mayoría basado tres criterios. El primero de estos criterios es conocido como la regla del vehículo previamente menos

⁹ Renuncia de conductores de la flota y la contratación de nuevos choferes.

utilizado. Sistemas que utilizan este enfoque, al momento de recibir una solicitud de traslado asignan el recorrido al radio taxi menos utilizado previo la solicitud de la flota. Esta metodología tiene como objetivo balancear la carga de trabajo e ingresos de cada radio taxi de la flota. Otra forma de realizar el ruteo de una flota consiste en regirse por la regla del vehículo más cercano al lugar del origen de la carrera al momento del ingreso de una solicitud. Dentro los principales beneficios asociados a este criterio se encuentran la reducción del tiempo de espera promedio del pasajero y la reducción de los tiempos de carrera ociosos de cada móvil. A pesar de los beneficios descritos anteriormente cabe mencionar que esta regla puede significar en la práctica que luego de trabajar el mismo número de horas algunos conductores de la flota obtengan mayores ingresos que otros, incrementando la rotación de la fuerza laboral y consecuentemente elevando los costos para la empresa. Por último está el enfoque de la regla difusa. Este criterio intenta combinar las dos reglas anteriormente descritas al seleccionar un conjunto de vehículos arbitrariamente cercanos al origen del recorrido solicitado por un cliente, para luego asignarle la carrera al vehículo menos utilizado de la vecindad. Si bien estos dos objetivos no pueden ser cabalmente alcanzados de forma simultánea (*M. Shrivastava 1997*) se ha observado en la práctica que la aplicación de este criterio conlleva a buenos resultados en relación al tiempo de recogida de cliente y la distribución de los ingresos por hora trabajada de cada chofer.

Dentro del mundo académico se han estudiado diferentes algoritmos y heurísticas que permiten realizar el proceso de ruteo para el Pick and Delivery Problem (PDP), categoría en la que se encuentra clasificado este problema de gestión de flota en particular. Con respecto a este tipo de problema, mencionado como Dial a Ride Problem (DARP) en múltiples publicaciones, existen dos variaciones significativas; su versión estática y su versión dinámica. La mayor diferencia entre estas es que, en el primer caso, se conoce la demanda o solicitudes de traslado con anterioridad al proceso de ruteo; mientras que en el segundo caso, la totalidad o una parte de las solicitudes de traslado, se conocen de manera aleatoria mientras se ejecuta la asignación de carreras. Al comparar ambas versiones de Pick and Delivery Problem, se ha observado que el caso asociado a demanda estática cuenta con un mayor grado de estudio, probablemente debido al costo asociado a obtener las posiciones de una flota de vehículos en tiempo real; el que fue paulatinamente disminuyendo dentro de las últimas dos décadas. Algunos de los tipos algoritmo más estudiados en relación a esta clase de problema son: algoritmos genéticos, búsqueda con memoria adaptativa, algoritmos hormiga y búsqueda tabú.

Los algoritmos genéticos (AG) se pueden definir como heurísticas de búsqueda que intentan imitar el proceso de evolución biológica dentro de la naturaleza. En general este tipo de algoritmos selecciona las mejores soluciones para un problema determinado a partir de una muestra o población inicial de soluciones. Una vez hecho esto, se aplican mecanismos de “cruce” o “mutación” con el fin de generar nuevas soluciones pertenecientes a la siguiente generación (Jip Man Vuong 2011). Este proceso de selección y transformación se repite continuamente hasta que algún criterio arbitrario es alcanzado tras lo que la ejecución llega a su fin.

La búsqueda con memoria adaptativa en el caso de este problema, consiste en generar un repositorio de rutas asociado a las mejores soluciones visitadas hasta el momento. Este conjunto es utilizado durante un número definido de iteraciones con el objetivo de recorrer diversas soluciones potenciales, creando y analizando nuevas rutas construidas en base a las previamente almacenadas en memoria. En caso de encontrar soluciones que compartan uno o más elementos con alguna ya almacenada en memoria, esta es reemplazada con la nueva ruta encontrada. Cabe mencionar que el mecanismo en el que se buscan nuevas soluciones, debe ser construido de tal forma que sea más probable encontrar mejores soluciones que alcanzar soluciones menos eficientes (Golden, B.L., Laporte, G. and Taillard, E.D. 1997).

Los algoritmos hormiga o de ant colony optimization (ACO) nacen de la observación de cómo las hormigas recolectan alimento en la vida real. La idea principal de esta técnica de meta-heurística subyace en el hecho en que las hormigas, en su búsqueda de alimento, marcan su camino con feromonas, lo que les permite encontrar el camino de regreso a la colonia. Entre más largas son las rutas más débil es la marca de feromonas, ya que con el paso del tiempo estas se evaporan. Los caminos con marcas más potentes incentivan a que otras hormigas los tomen, dejando a la vez su marca de olor. En base a este proceso, las hormigas determinan de manera continua las rutas más eficientes a las fuentes de alimento cercanas a la colonia. Esta clase de algoritmo se divide por lo general en tres etapas. En primer lugar se encuentra la generación de aristas o de soluciones al problema planteado. La segunda etapa se conoce como “Daemon Actions” y es un paso opcional, que permite la aplicación de alguna técnica de optimización particular con el fin de mejorar la calidad del conjunto de soluciones generadas en la fase anterior. Por último se encuentra la etapa de actualización de feromonas, en donde una vez que cada hormiga o proceso completa una solución se les agrega un mayor peso a las soluciones más eficientes. La aplicación de ACO a problemas altamente complejos de optimización combinatoria es atractivo debido principalmente a la flexibilidad y robustez asociada a esta clase de algoritmo (Manar Ibrahim Hosny 2010).

La búsqueda tabú comienza su proceso de optimización partiendo de un conjunto de soluciones iniciales, desde el que se desplaza a través del vecindario asociado durante cada iteración buscando la mejor solución. Con el objetivo de evitar caer en ciclos reiterativos en el análisis de soluciones, una vez que una solución particular es visitada es ingresada a un listado prohibido o tabú, tras lo que el algoritmo no vuelve a analizar esta opción por un número definido de iteraciones. Desde que esta técnica fue propuesta en 1986 por Fred W. Glover, se ha convertido en la heurística más utilizada en la optimización combinatoria (Jean-François Cordeau, Gilbert Laporte 2003).

Al analizar diversas fuentes bibliográficas se ha observado que la técnica actualmente más estudiada en relación al problema de optimización de rutas es la búsqueda tabú. También se encontraron publicaciones donde este tipo de heurística ha sido mejorada al combinarla con elementos asociados a la búsqueda con memoria adaptativa. Al comparar estudios experimentales asociados a los tipos de heurísticas previamente mencionadas, realizados con el objetivo de resolver el problema de

asignación de rutas, se ha observado también que en la mayoría de los casos de estudio, la búsqueda tabú ha destacado por sus menores tiempos de ejecución y buenas soluciones alcanzadas (Michel Gendreau, François Guertin, Jean-Yves Potvin, René Séguin 2006).

Entre los casos de estudio dentro de la industria más conocidos, se encuentran los de la compañía china DaZhong y la empresa londinense Addison Lee. DaZhong fue una de las primeras firmas asociada al servicio de taxis en adoptar un sistema de asignación de carreras en tiempo real en base a la ubicación mediante GPS de los vehículos de su flota. Si bien la adopción de este tipo de sistema no estuvo exenta de problemas, al poco tiempo de su implementación la compañía reportó haber reducido el tiempo de espera promedio de sus clientes, incrementado la calidad de servicio durante el traslado y optimizando el largo promedio de cada carrera (*XU Zhengchuan, YUAN Yufei, JIN Huiliang, LING Hong 2005*). Por otra parte Addison Lee luego de haber puesto en funcionamiento un sistema de asignación de recorridos desarrollado por la empresa Magenta Corporation, generó un incremento en sus ingresos tal, que le permitió recuperar su inversión en dos meses (*Andrey Glaschenko, Anton Ivaschenko, George Rzevski, Petr Skobelev 2009*). Dentro de los beneficios reportados se encuentran una reducción en un 2% de las solicitudes de traslado perdidas, una reducción del 22% de recorridos sin pasajeros y un aumento en el rendimiento promedio por vehículo entre el 5% y el 7%.

En el caso de la industria nacional actualmente no existen compañías de radio taxis o taxis ejecutivos que utilicen sistemas de asignación de carreras en tiempo real en base a coordenadas GPS. No obstante a lo anterior existen diversas compañías de taxis regulares que utilizan este tipo de herramientas. A pesar de esto, la problemática de este tipo de empresas es significativamente distinta a la que se ven enfrentadas las empresas de taxis ejecutivos tanto en la relación con sus clientes y colaboradores (los choferes de su flota) como con su estructura de costos; causando que las soluciones existentes dentro de esta industria no sean adaptables al caso. Se ha observado que a pesar de que existe gran demanda por radio taxis, las compañías nacionales han optado por no adquirir flotas mayores a los 400 vehículos, lo que probablemente se deba a un incremento significativo en los costos de administrar una flota dicha envergadura; lo que eventualmente podría ser solucionado al implementar un sistema de ruteo en tiempo real efectivo.

3. Análisis de la situación actual

Durante el siguiente capítulo se presentará la situación actual asociada al caso de estudio de este trabajo, en base al análisis de diferentes fuentes de datos e información. Hecho lo anterior, se identificarán diferentes aspectos mejorables en relación al proceso de asignación de carreras efectuado por One Radio Taxi, los que posteriormente serán considerados en la etapa de re diseño de este proyecto.

3.1 Presentación de la empresa

Fantástico es una empresa que provee de servicios asociados al rubro tecnológico a compañías de radio taxis en la región metropolitana de Chile. Dentro de sus clientes actuales destacan varios de los actores más relevantes asociados a la industria nacional de taxis ejecutivos, uno de ellos, One Radio Taxis. Es en base a los datos asociados a esta empresa en particular que se llevó a cabo el siguiente proyecto.

One Radio Taxis es una empresa con más de 15 años de experiencia en el rubro del transporte de pasajeros. Acorde a información asociada al Ministerio de Transporte y Telecomunicación la firma cuenta con una flota vigente de 199 taxis ejecutivos de los cuales es dueño de aproximadamente el 10%, transformándola en el cuarto operador más grande a nivel nacional.

Actualmente One Radio Taxis cuenta con dos categorías de cliente: personas naturales y empresas con convenio de transporte para sus empleados. Hoy en día los convenios con empresas corresponden a más del 80% de las solicitudes de traslado atendidas mensualmente por la firma.

3.2 Aspectos significativos del negocio

Dada la alta competencia que existe dentro de la región metropolitana en relación a la industria del transporte de pasajeros y a la naturaleza de los contratos que One Radio Taxis establece con sus clientes; la firma ha definido los siguientes aspectos como claves para su negocio:

- i. **Constancia en el tamaño de su flota:** Como la empresa es dueña únicamente de un porcentaje menor de los vehículos de su flota y los convenios establecen una tasa de cobertura fija, la minimización de la rotación dentro de su flota es significativa para satisfacer la demanda de sus clientes

- ii. **Cumplimiento de los traslados acordados:** Debido a la naturaleza y tamaño de los convenios alcanzados con sus clientes, el cumplimiento de los traslados es un aspecto clave para la sostenibilidad en la relaciones con sus clientes en el tiempo. Debido a lo anterior y con el objetivo de diferenciarse de su competencia, la firma tiene políticas de compensación en casos de incumplimiento en sus carreras; por lo que especial énfasis en este aspecto.

- iii. **Calidad de servicio:** Dado lo competitivo de la industria, la empresa siempre está buscando maneras de mejorar su calidad de servicio; ya sea mediante capacitación de sus choferes, variedad en los modelos de su flota como también en aplicación de tecnología en sus procesos de facturación y monitoreo de traslado.

3.3 Sistemas tecnológicos utilizados

Actualmente One Radio Taxis utiliza dos sistemas tecnológicos para facilitar la operación de su flota: SmartTaxi y Fantáxico.

Smart Taxi es un software que mediante la utilización de sistemas de planillas en tiempo real permite:

- Ingresar solicitudes de traslado de pasajeros.

- Monitorear el estado de los vehículos que componen la flota de la empresa.

- Almacenar la asignación de carreras.

- Generar reportes asociados a la facturación y pago de los servicios.

Por otra parte, Fantáxico es un sistema que entrega la posibilidad de monitorear un conjunto de vehículos mediante la utilización de tecnología GPS. Entre sus características este sistema permite:

- Visualizar la ubicación y el estado de cada vehículo de la flota en una interfaz gráfica geo referencial.

- Recibir la asignación de carreras mediante una aplicación móvil para sistemas Android.
- Facilitar la generación de vales al momento de realizar el pago asociado a un traslado de un cliente con convenio.

Ambos sistemas son capaces de integrarse e interactuar entre sí, facilitando la gestión de la operación de la flota. Sin embargo, ninguno de los dos sistemas se hace cargo del proceso de asignación de carreras, el cual es llevado a cabo manualmente por operarios del sistema.

3.4 Descripción funcional del mecanismo de asignación previo al proyecto de automatización

Se entiende la asignación de una carrera como el proceso en el que se decide qué móvil de la flota de radio taxis atenderá una solicitud de traslado en particular. Formalmente el atender una solicitud de traslado consiste en recoger a un pasajero en una ubicación y hora especificada, para luego transportarlo hacia un lugar de destino especificado.

Previa a la realización de este proyecto, el proceso de asignación de One Radio Taxi era realizado de forma manual por una persona conocida dentro de la empresa como locutor. Con el fin de facilitar el proceso de asignación, la compañía adquirió las plataformas informativas SmartTaxi y Fantáxico las que serán descritas en mayor detalle posteriormente. Utilizando información visual entregada por ambas herramientas, el locutor lleva a cabo una a una las asignaciones dentro del sistema SmartTaxi. One Radio Taxi llevaba a cabo su proceso de asignación de carreas utilizando una estrategia de bases. Una base consiste en una zona geográfica arbitrariamente definida, con el fin de facilitar el proceso de asignación.

A continuación se describe genéricamente cómo funciona el sistema de asignación implementado en el pasado por One Radio Taxi:

1. A medida que One Radio Taxi recibe una llamada de sus clientes solicitando un traslado, se registra la información asociada a esta dentro del sistema SmartTaxi. En particular se registra la hora y lugar de recogida, destino del traslado además de otra información relativa al cliente y facturación.
2. Cada vez que los móviles de la flota comienzan su jornada laboral o quedan a la espera de pasajeros, se inscriben dentro de una base o zona dependiendo de su

ubicación geográfica; utilizando la aplicación móvil Fantáxico. Cada base tiene asociada una cola dentro del sistema SmartTaxi, la que lleva un registro del orden cronológico con que los diferentes móviles se incorporaron a esta.

3. A medida que se acerca la hora de recogida asociada a una carrera, SmartTaxi despliega alertas informativas, incentivando al locutor a realizar la asignación de la carrera. One Radio Taxi estableció arbitrariamente que toda carrera debiese encontrarse asignada con un mínimo de 40 minutos de anticipación respecto a la hora de recogida establecida.
4. Cuando el locutor decide realizar la asignación de una carrera, revisa la base correspondiente respecto al lugar de recogida del pasajero y asigna la carrera al vehículo registrado en la primera posición de la cola asociada a la base.
5. En el caso en que la cola asociada a la base correspondiente se encuentre vacía, se le asigna la carrera al primer móvil de alguna de las bases colindantes.

Cabe mencionar que dentro del sistema SmartTaxi existe la posibilidad de manualmente pre asignar carreras, las que quedan otorgadas automáticamente una vez que el móvil asociado acepte realizar el recorrido a través de la aplicación móvil de Fantáxico. Cada día aproximadamente a las 19 horas el locutor de turno se encarga de pre asignar la mayor cantidad de carreras agendadas para la mañana siguiente. Lo anterior se hace utilizando el criterio de mayor cercanía entre el punto de recogida de cada pasajero y la localización de los hogares de los choferes perteneciente al turno matutino.

3.5 Mecanismo de asignación previo al proyecto de automatización

A continuación se presenta el proceso de solicitud y asignación actualmente utilizado por Radio Taxi One. En dicho proceso interactúan cinco actores: telefonistas, SmartTaxi, Fantáxico, locutores y la flota de vehículos de One. Dentro del proceso los telefonistas son los encargados de ingresar la información asociada a cada solicitud de traslado indicada por cada cliente al sistema informático SmartTaxi. Este sistema es un software que lleva registro de las diferentes solicitudes realizadas por los clientes de One, permitiéndole visualizar el estado de cada carrera, o solicitud de traslado, en tiempo real. Una vez ingresada la información a este sistema, Fantáxico, un sistema complementario, replica cierta información dentro de su base de datos propia. Fantáxico es un sistema que utilizando tecnología GPS permite visualizar la posición y estado de cada vehículo de la flota de Astal Radio Taxi dentro de la interfaz gráfica georreferenciada. Tanto la información asociada al sistema Fantáxico como la de SmartTaxi es presentada a un equipo de locutores en tiempo real, los que, en base a esta, realizan la asignación de carreras o recorridos de toda la flota de vehículos. Una vez realizada la asignación, la herramienta Fantáxico se encarga de notificar automáticamente al radio taxi que se le

asignó la carrera; y se hace cargo también de almacenar la información del vehículo notificado tanto en su base de datos como en la de SmartTaxi.

Diagrama del proceso de asignación actual

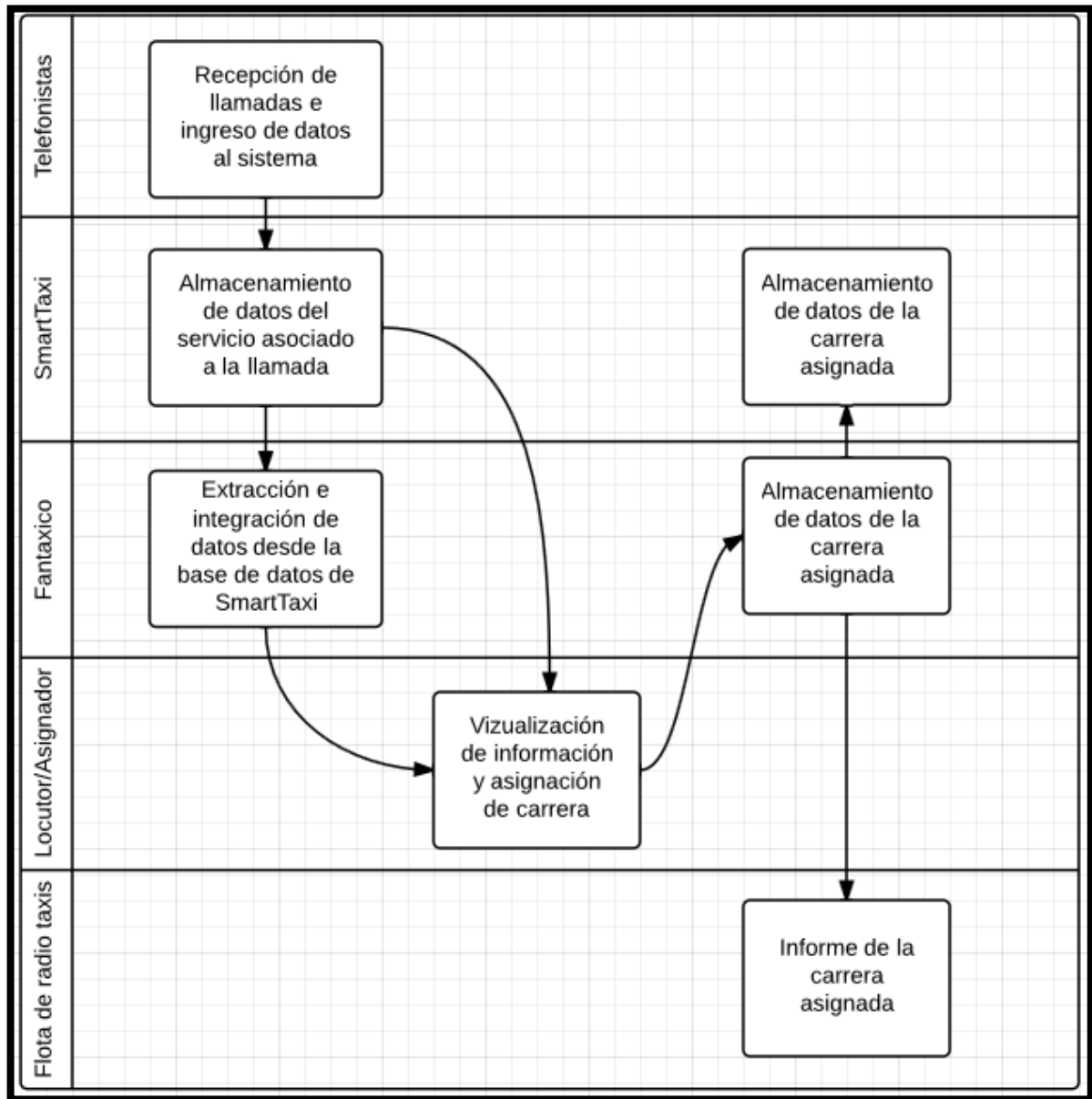


Figura 2: Diagrama del proceso de asignación actual.

(Fuente: Elaboración propia).

A continuación se muestran y describen las diferentes interfaces gráficas perteneciente a los sistemas SmartTaxi y Fantáxico involucradas en el proceso de asignación.

Interfaz de registro de solicitud de traslado (SmartTaxi)

Mediante la siguiente interfaz, los telefonistas registran las diferentes solicitudes de traslado realizadas por clientes de One Radio Taxi.

The screenshot shows the SMARTTaxi Control de Operación y Locución interface. The window title is "SMARTTaxi Control de Operación y Locución - [Operación]". The menu bar includes "Sistema", "Administración", "Operación", "Locución", and "Consultas". The toolbar contains icons for various functions. On the left, there are two panels: "Acciones" with options like "Reserva de Carreras", "Rescata Fono llamado", "Confirmación de vuelo", "Despertar a Clientes", "Informar llegada móvil", and "Llamada Directa"; and "Consultas" with options like "Móviles", "Empresas en Conver", "Ficheros", "Hoteles", "Aerolíneas", "Restaurantes", "Ingles", and "Tarifas Ref.". Below these is an "Información" panel showing "Operador: Fantaxico Testing", "Pendientes: 0", "Demora: NO", and "Tomar Crist.: SI LIBRE SERVICIO". The main area is titled "Ingresando una nueva Reserva" and contains several sections: "Datos Iniciales" with fields for RUT, Fono Solicitante, Empresa en Convenio, Nombres Solicitante, and Apellidos; "Cliente" and "Notas y Alertas" sections; "Datos de la carrera" with "Pasajero" information (Nombres, Apellidos, Rut, Fono/Celular, Otro Fono, Mail) and "Hora y Fecha" (03-11-2014, 16:52); "Origen" and "Destino" sections with "Direccion", "Calle", "Número o Intersecc", "Comuna", and "Referencia" fields; "Referencias" section with "C.Costo / Proyecto", "Motivo/Area/Tarea", "Nota", and "Observación" fields; "Detalles del Servicio" section with "Tipo Movil" (Ejecutivo), "Tipo Cancelación" (Vale), and checkboxes for "Discapacitado", "Animales", "Maleta Grande", and "Bajo"; and "Tarifa" section with "Tarifa" and "Nº de Vale" fields. At the bottom, there is a toolbar with buttons for "Guardar (F1)", "Dejar QTA (F2)", "Carreras (F3)", "Buscar (F4)", "Empleados (F5)", "Imp./Mail (F6)", and "Limpiar (F7)".

Figura 3: Interfaz de solicitudes de traslado SmartTaxi.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Interfaz de asignación y gestión de carreras (SmartTaxi)

Utilizando la siguiente interfaz los locutores de One Radio Taxi realizan el proceso de asignación y pre asignación a través de la plataforma SmartTaxi. Entre otros indicadores en esta vista se pueden visualizar: la hora y lugar de recogida de cada

carrera, el estado asociado a la asignación, qué vehículo atenderá cada traslado, así como ,el estado en tiempo real asociado al móvil asignado.

Fec.Contaci	Tip.Can	EstadoMov	Movil	H.Contaci	Movil	Hora Env.	Posi	Movil Pr	Mov.Sel	As	Direccion	Nombres Pasajero	Apellidos	Empresa	C.C.	Telefono	Hr
03-11-2014	Vale	TARIFADO	0099	11:45:00	0099	16:37:07	99-CORR	0099			Jose Manuel Infante 5517/*	Carlos	Gacitua	0118 - Hospital Sa		25753675	/
03-11-2014	Vale			15:00:00				0060			Jose Manuel Infante 5517/*	Carlos	Gacitua	0118 - Hospital Sa		25753675	/
03-11-2014	Vale	INICIADO		17:30:00				0099			Jose Manuel Infante 5517/*	Carlos	Gacitua	0118 - Hospital Sa		25753675	/
04-11-2014	Vale			11:45:00							Jose Manuel Infante 5517/*	Carlos	Gacitua	0118 - Hospital Sa		25753675	/
04-11-2014	Vale	PRE-CONFIR		15:00:00				0099			Jose Manuel Infante 5517/*	Carlos	Gacitua	0118 - Hospital Sa		25753675	/
04-11-2014	Vale			17:30:00							Jose Manuel Infante 5517/*	Carlos	Gacitua	0118 - Hospital Sa		25753675	/
05-11-2014	Vale			05:45:00							Escriva De Balaguer 9195/*	Carlos	Mitroga	0448 - Danfoss Ind		62060845	/
05-11-2014	Vale			11:45:00							Jose Manuel Infante 5517/*	Carlos	Gacitua	0118 - Hospital Sa		25753675	/
05-11-2014	Vale			15:00:00							Jose Manuel Infante 5517/*	Carlos	Gacitua	0118 - Hospital Sa		25753675	/

Figura 4: Interfaz de asignación y gestión de carreras en SmartTaxi.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Por otra parte, el locutor además cuenta con información visual proveniente del sistema Fantáxico.

Interfaz de actividad en tiempo real de la flota (Fantáxico)

A través de la siguiente vista la plataforma Fantáxico permite al locutor observar visualmente la ubicación y estado de cada móvil de la flota en tiempo real.

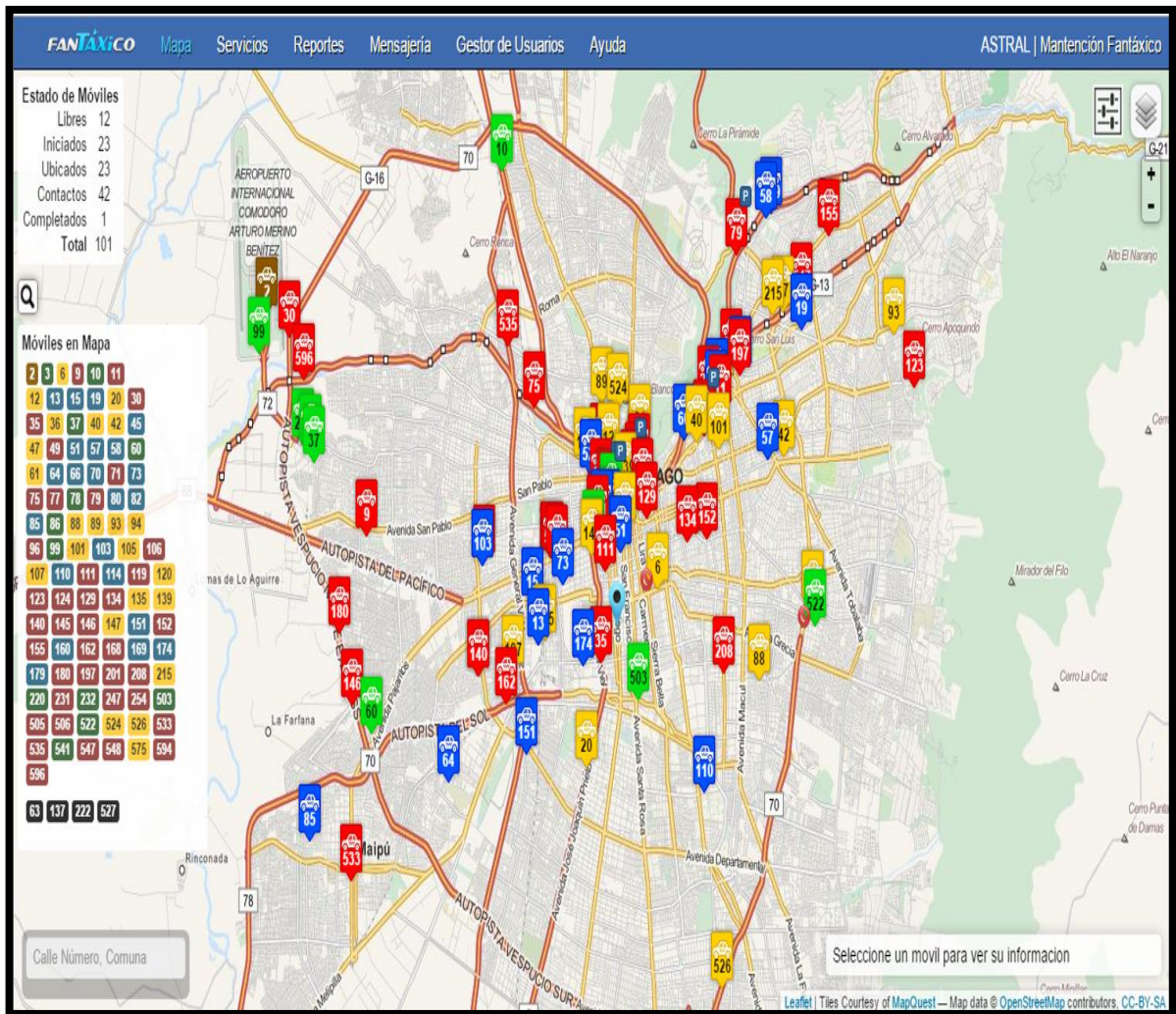


Figura 5: Interfaz de actividad en tiempo real de la flota en Fantáxico.

(Fuente: Sistema computacional Fantáxico).

Una vez que el locutor realiza la asignación a través de SmartTaxi, el sistema se comunica con el servidor de Fantáxico, el que notifica, a través de una aplicación móvil del sistema al vehículo de la flota seleccionado para realizar la carrera. A continuación se presenta la interfaz con el que el chofer del móvil asignado es notificado a través de su teléfono móvil.

Interfaz de notificación (Fantáxico Aplicación Móvil)

Una vez que un vehículo es asignado para cubrir una carrera, recibe una notificación en su teléfono móvil mediante la siguiente pantalla.

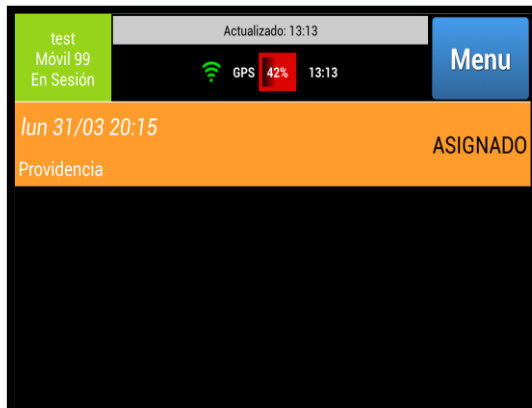


Figura 6: Interfaz de notificación en Fantáxico Aplicación Móvil.
(Fuente: Aplicación móvil Fantáxico).

Al presionar sobre la notificación se despliega la siguiente interfaz en el teléfono del conductor, la que muestra entre otras cosas la dirección y hora de recogida del pasajero. Además de lo anterior, la interfaz permite al chofer indicar el momento en que se encuentra ubicado en la dirección de recogida; lo que se registra en Fantáxico y SmartTaxi.



Figura 7: Interfaz información de carrera en Fantáxico Aplicación Móvil.
(Fuente: Aplicación móvil Fantáxico).

Ya habiendo el pasajero ingresado al vehículo y comenzado el servicio de traslado, el chofer del móvil debe registrar el inicio de la carrera mediante la siguiente interfaz.



Figura 8: Interfaz de registro inicial de una carrera en Fantáxico Aplicación Móvil.
(Fuente: Aplicación móvil Fantáxico).

Una vez que el móvil llega al destino de la carrera, el chofer ingresa el precio de esta mediante la aplicación móvil de Fantáxico. Ya procesada la información asociada al tarifado se despliega la siguiente interfaz.



Figura 9: Interfaz desplegada al final de una carrera en Fantáxico Aplicación Móvil.

(Fuente: Aplicación móvil Fantáxico).

Validado el tarifado, la aplicación móvil ingresa en SmartTaxi los datos asociados al cobro de la carrera. Culminado lo anterior, la aplicación registra tanto a SmartTaxi como a Fantáxico que el móvil se encuentra nuevamente disponible para atender carreras.

3.6. Análisis de datos

Durante las siguientes sub secciones se estudiarán los datos facilitados por One Radio Taxi, relativos a los diferentes sistemas informáticos utilizados en su operación diaria.

3.6.1 Descripción de los datos

Durante la elaboración de este trabajo se utilizó data asociada a la empresa One Radio Taxi, proveniente de dos sistemas tecnológicos: Smart Taxi y Fantáxico.

Dentro de los datos más relevantes almacenados dentro del sistema Smart Taxi se encuentran los registros relacionados al ingreso de solicitudes de traslado, además del registro de asignación de carreras. Respecto al ingreso de solicitudes de traslado, los datos de mayor importancia son:

Atributos ingreso de solicitudes de traslado
Fecha y hora de la llamada de reserva.
Fecha y hora de recogida del pasajero.
Fecha y hora de pre asignación de la carrera.
Fecha y hora de asignación de la carrera.
Fecha y hora asociada al aviso de llegada del móvil, una vez que este se ubicó en el punto de recogida del pasajero.
Fecha y hora asociada a la finalización de una carrera.
Dirección de origen de la carrera. Este registro se expresa en una calle, número y comuna asociada a la dirección de origen. No se almacenan las coordenadas geográficas de la dirección.
Dirección de destino de la carrera. Este registro se expresa en una calle, número y comuna asociada a la dirección de origen. No se almacenan las coordenadas geográficas de la dirección.
Monto cancelado por el pasajero en relación al servicio de traslado.

Tabla 1: Datos de registro y caracterización de solicitudes de traslado.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi)

En relación al registro de asignación de carreras los datos más relevantes son:

Atributos registro de asignación
El identificador asociado a un vehículo en particular de la flota.
El identificador asociado a la solicitud de traslado.

Tabla 2: Atributos de registro de asignación.

(Fuente: Sistema computacional Fantáxico).

Respecto a la data almacenada por el sistema Fantáxico los registros de mayor importancia para el proyecto son:

Atributos registro estado vehículo
El estado de cada móvil.
La geo ubicación de cada móvil expresada en coordenadas de latitud y longitud.
La fecha de captación del dato.

Tabla 3: Atributos de registro sobre el estado de los móviles de la flota.

(Fuente: Sistema computacional Fantáxico).

Cabe mencionar que estos datos se registran para cada vehículo de la flota, con una frecuencia de 15 segundos, lo que significa trabajar con volúmenes importantes de datos.

3.6.2 Estudio de la data disponible

En base a los datos disponibles del sistema Smart Taxi se obtuvieron los siguientes indicadores que permiten presentar la situación actual de One Radio Taxis.

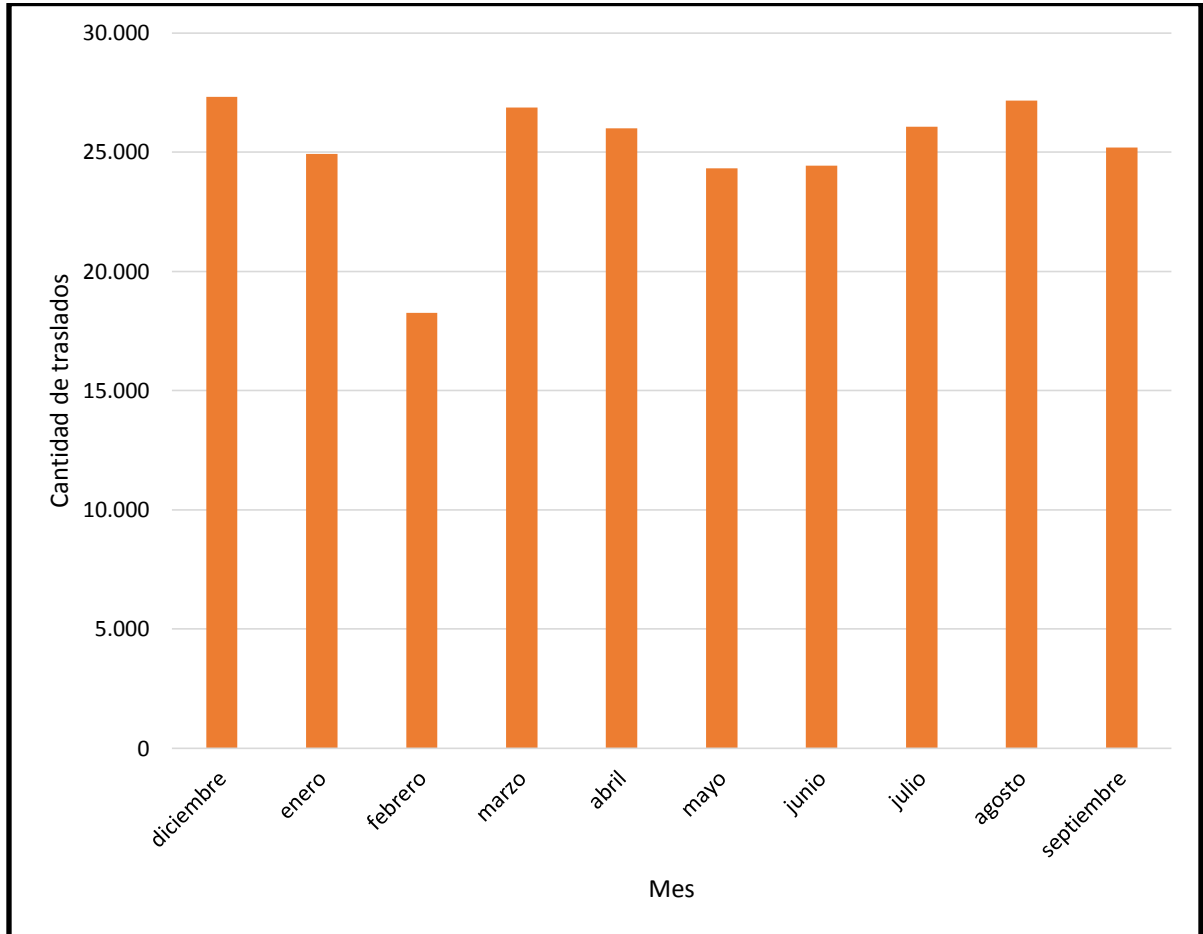


Figura 10: Traslados mensuales realizados.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Del gráfico anterior se puede observar una clara disminución en la demanda de traslado de pasajeros sufrida durante el mes de febrero. Esta variación probablemente esté asociada a la toma de vacaciones durante ese mes por parte de una fracción considerable de los clientes de One Radio Taxis en Santiago. Sin considerar el mes de febrero, el promedio mensual de cantidad de solicitudes de traslado de One Radio Taxi es de 25.817 con una desviación estándar de 1.084 traslados. Al comparar la demanda de cada mes, se puede observar que es abril el mes que más se asemeja a la media de la muestra con una demanda de 26.010 solicitudes de traslado. La escasa varianza de la demanda mensual puede ser explicada por la naturaleza de la mayor parte de los traslados realizados por la empresa, que corresponden a convenios con empresas.

Debido a lo anterior, se inducen niveles de solicitudes de traslados que muestran cierta periodicidad, tanto por día de la semana como por mes. Si bien, no existe actualmente un sistema de registro de solicitudes no atendidas debido a incapacidad de la flota, el gerente de operaciones de One indicó que hay un porcentaje considerable de carreras solicitadas con menos de 15 minutos de anticipación, que diariamente se opta por no aceptar, con el objetivo de no perjudicar los niveles de calidad de servicio de la empresa.

A continuación se muestra la demanda mensual de solicitudes de traslado descompuesta por día de la semana.

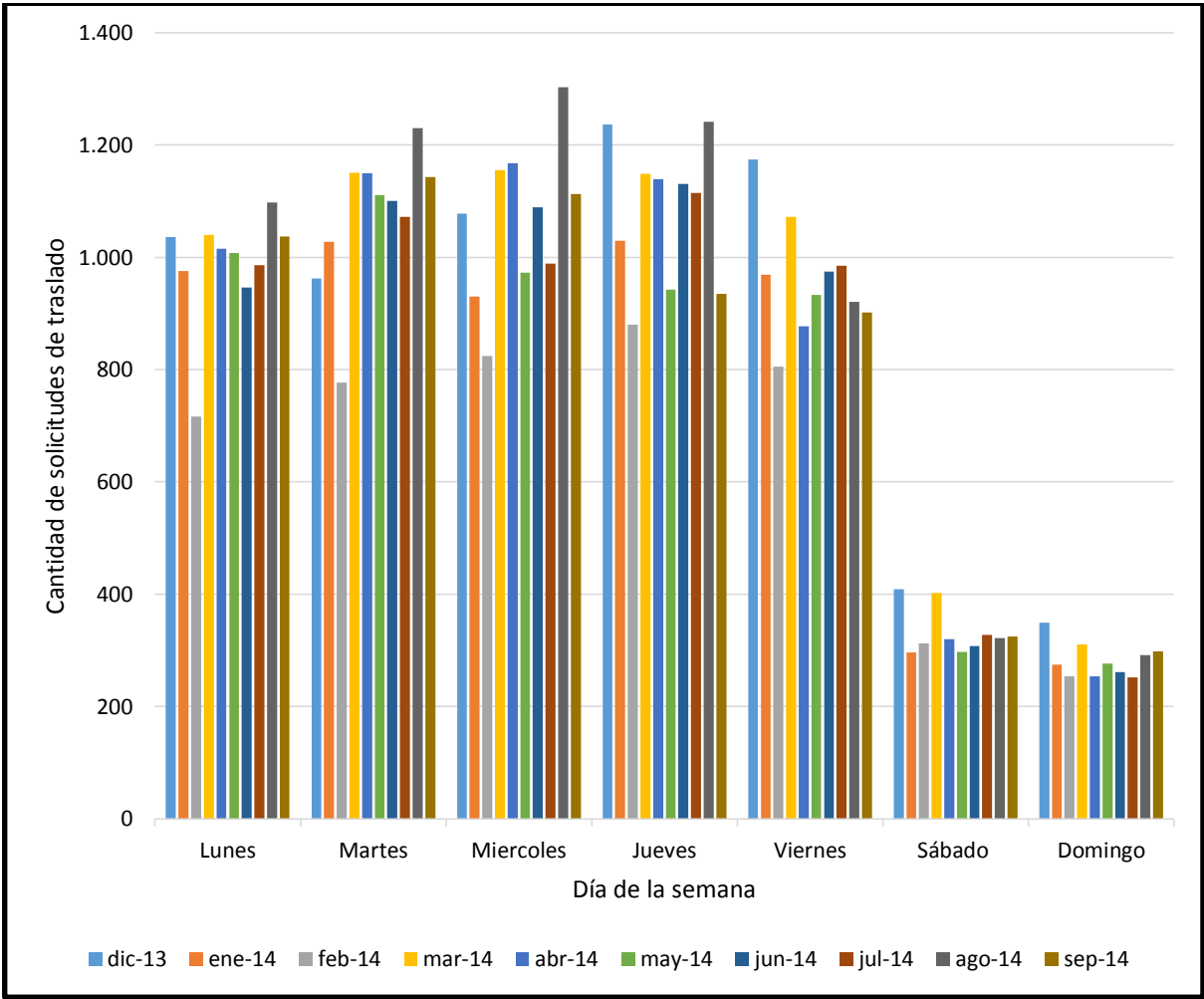


Figura 11: Demanda por mes y día de la semana.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Luego de inspeccionar visualmente el gráfico se puede observar algún grado de estacionalidad en la demanda asociada a cada día, viéndose considerablemente acentuado en los días sábado y domingo. Para profundizar el entendimiento de los datos se seleccionaron los meses de abril, mayo y junio para presentar detalladamente la descomposición de la demanda por día de la semana. A continuación se presenta la demanda asociada a las solicitudes de traslado recibidas por One Radio Taxi para cada día de la semana durante los meses de abril mayo y junio del año 2014.

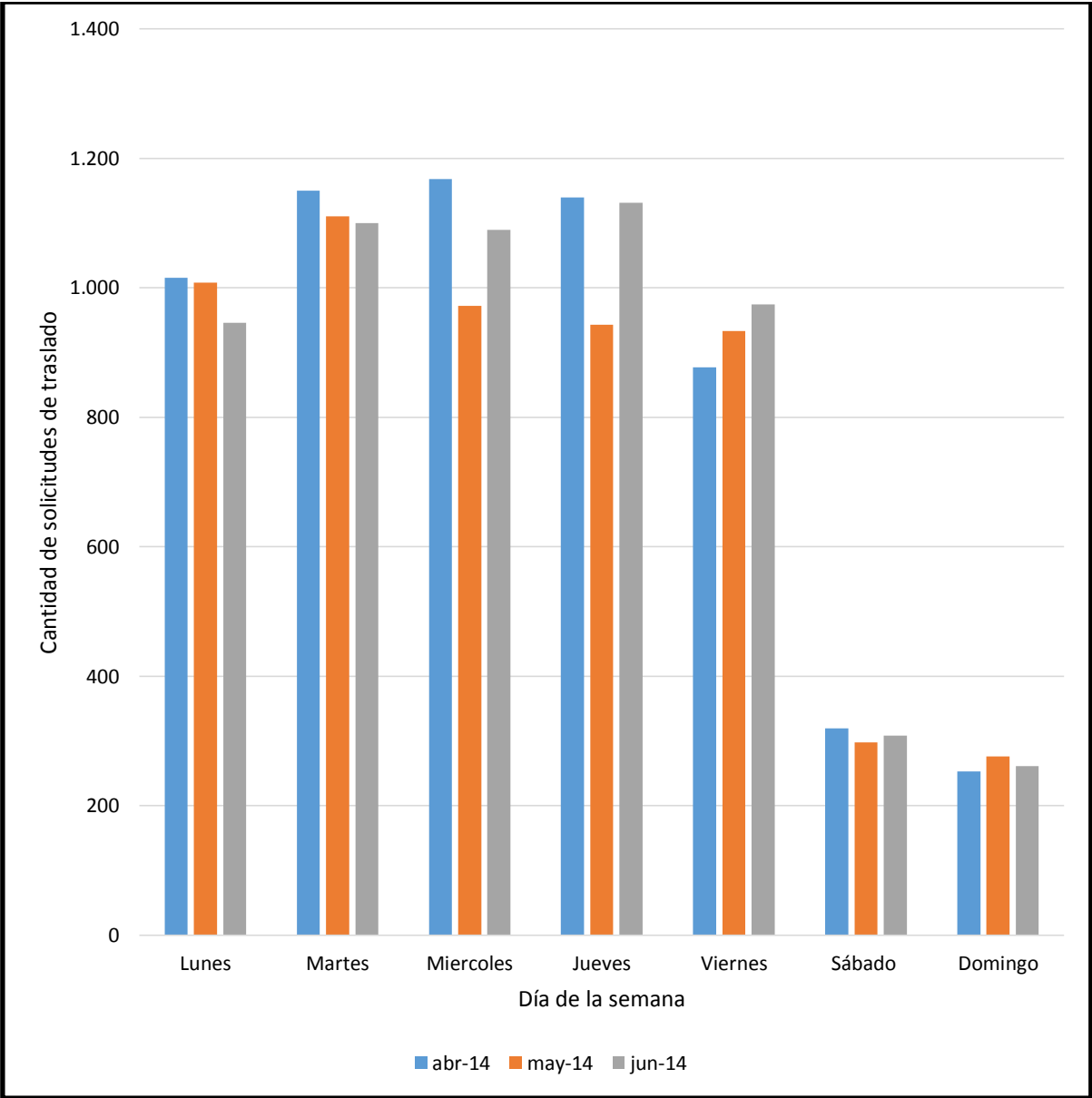


Figura 11: Demanda Abril, Mayo y Junio 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Al considerar estos meses, que cuentan con una menor varianza, con respecto a la demanda promedio mensual, se puede observar con aún más claridad cierta estacionalidad asociada a cada día de la semana. Este efecto se hace aún más evidente si se normalizan los datos asociados a los días feriados.

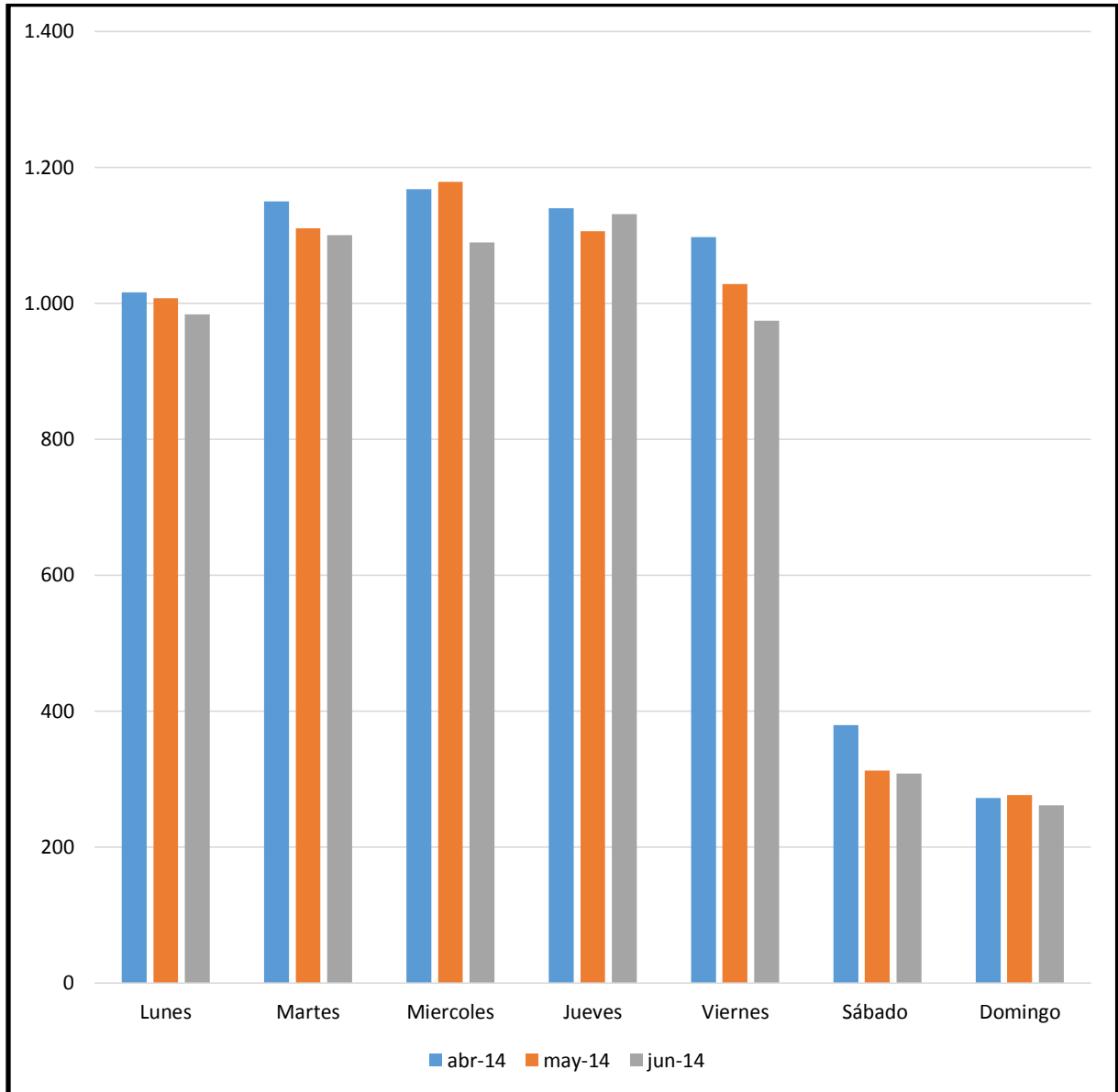


Figura 12: Demanda normalizada Abril, Mayo y Junio 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Debido a que abril es el mes en el que la cantidad de solicitudes de traslado se asimila en mayor medida a la media observada para los distintos meses que considera la data disponible, se seleccionó este mes para profundizar en el análisis de la demanda de traslados.

A continuación se muestra la distribución porcentual de la demanda según la comuna de origen de cada carrera asociada al mes de abril.

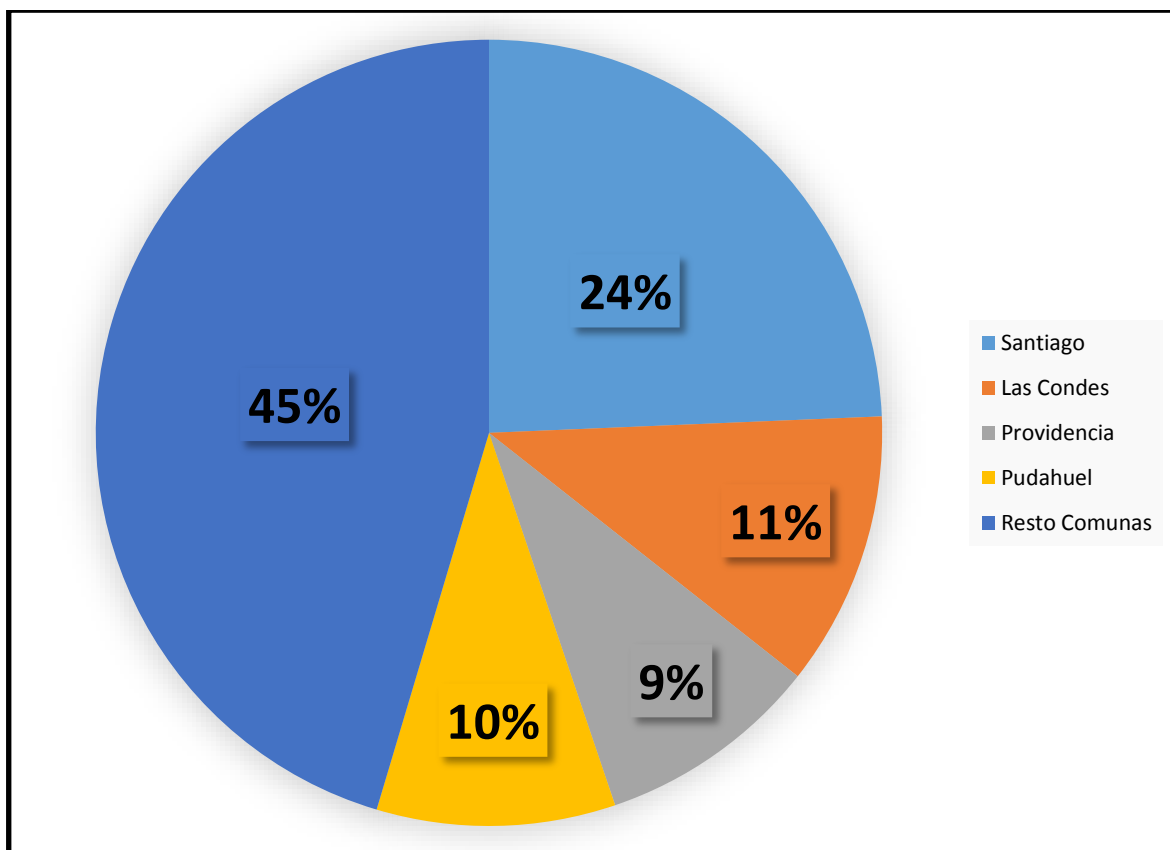


Figura 13: Distribución de la demanda por comuna de origen, Abril 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Como se puede observar del gráfico anterior, al descomponer la demanda según la comuna de recogida de cada pasajero, existe una clara predominancia por parte de las comunas de Santiago, Las Condes, Providencia y Pudahuel, que en su conjunto representan el 55% de la demanda total. De la figura anterior se puede concluir que la mayoría de los clientes de One Radio Taxi se encuentran ubicados en las comunas de Santiago, Las Condes y Providencia. En el caso de la comuna de Pudahuel la conclusión no es directa, ya que una cantidad significativa de carreras pueden tener como origen el Aeropuerto de Santiago-Pudahuel ubicado en dicha comuna.

A continuación se muestra la distribución porcentual de la demanda según la comuna de destino de cada carrera asociada al mes de abril.

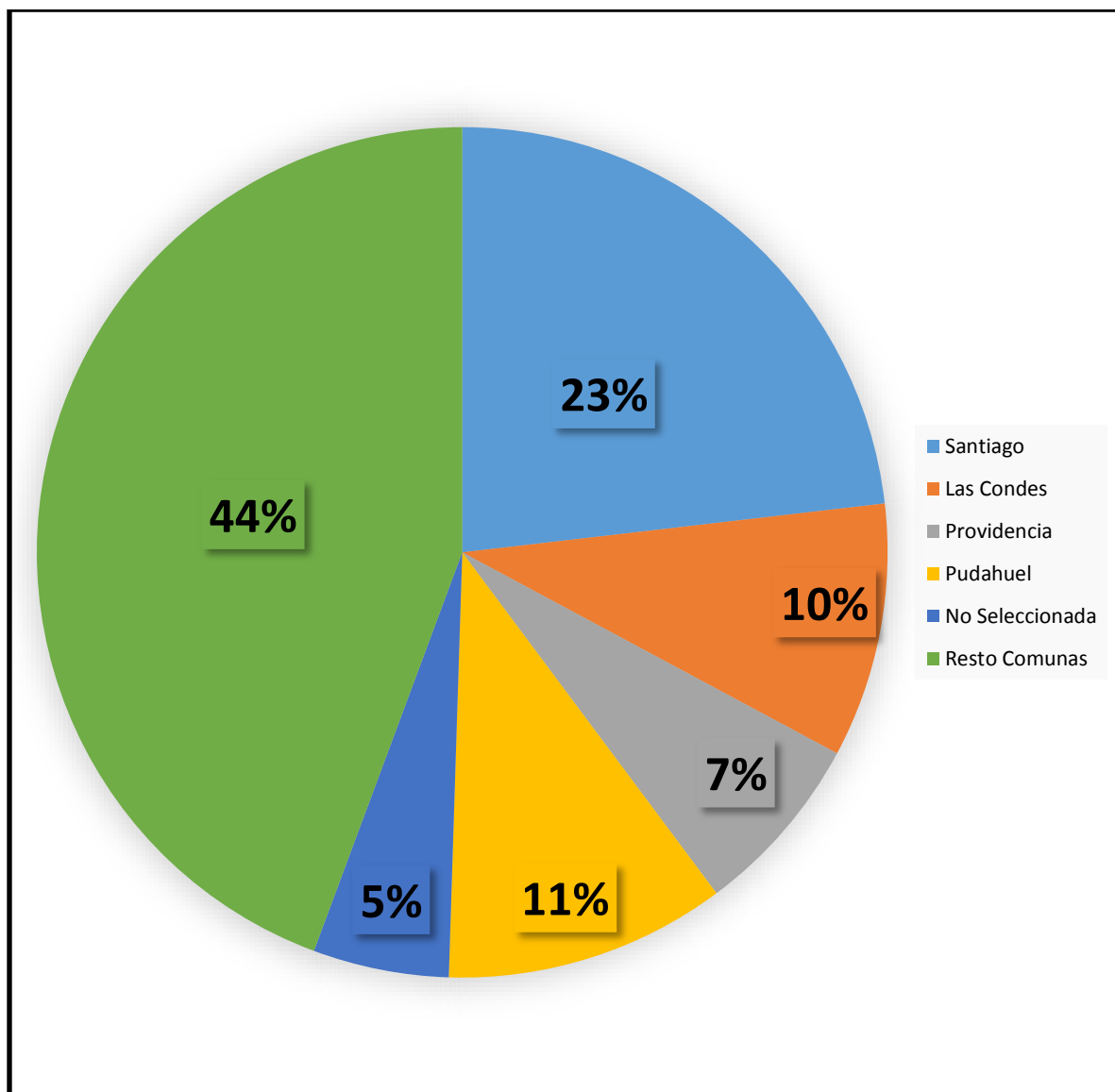


Figura 14: Distribución de la demanda por comuna de destino, Abril 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Como muestra la figura, las comunas de: Santiago, Las Condes, Providencia y Pudahuel vuelven a representar la mayor parte de los destinos solicitados durante el mes de abril, alcanzando el 51% del total de los destinos durante aquel mes. Al estudiar la descomposición por comunas de destino se observó que existe un 5% del total de las carreras registradas que no cuentan con una comuna de destino ni una dirección definida dentro del set de datos. Lo anterior da cuenta de una mayor rigurosidad en el ingreso de direcciones de origen por sobre las direcciones de destino.

Con el objetivo de profundizar acerca de cómo se mueve la flota a través de las diferentes comunas, a continuación se presenta la distribución porcentual de la demanda de traslados entre comunas.

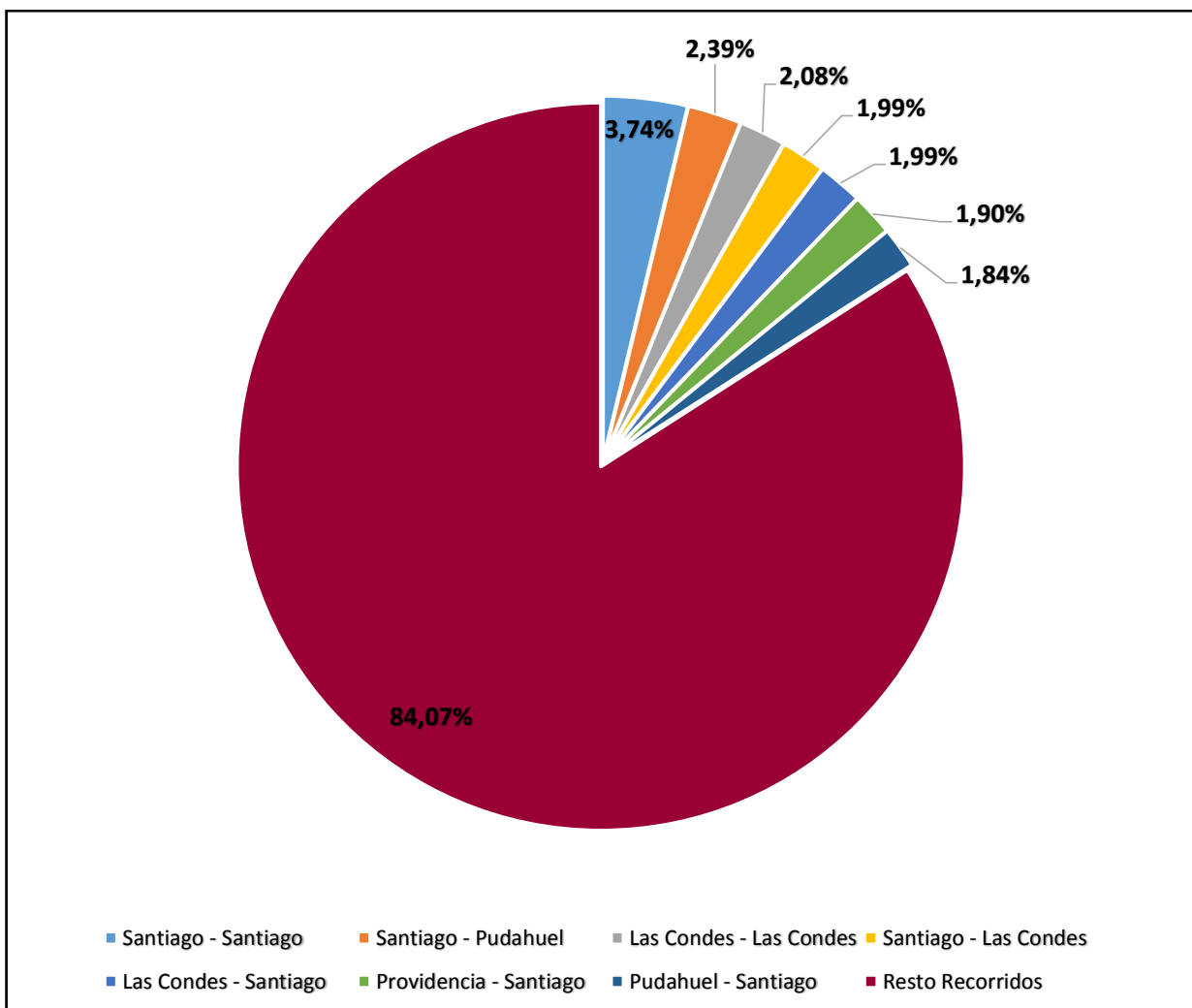


Figura 15: Distribución porcentual en relación a la demanda de traslados entre comunas (RM).

(Fuente: Elaboración propia)

Como se podía esperar, los porcentajes más significativos de desplazamiento entre comunas de origen y destino, involucran al conjunto de comunas presentadas en las dos figuras anteriores. Sin embargo, la suma de los porcentajes entre las 6 combinaciones con mayor peso porcentual, únicamente corresponden al 16% del total; por lo que si bien se pueden identificar las rutas más transitadas por la flota, no se observan rutas que acaparen un porcentaje significativo de la demanda total.

A continuación se muestra la descomposición porcentual de la demanda para cada día de la semana en relación a las comunas de origen de cada carrera.

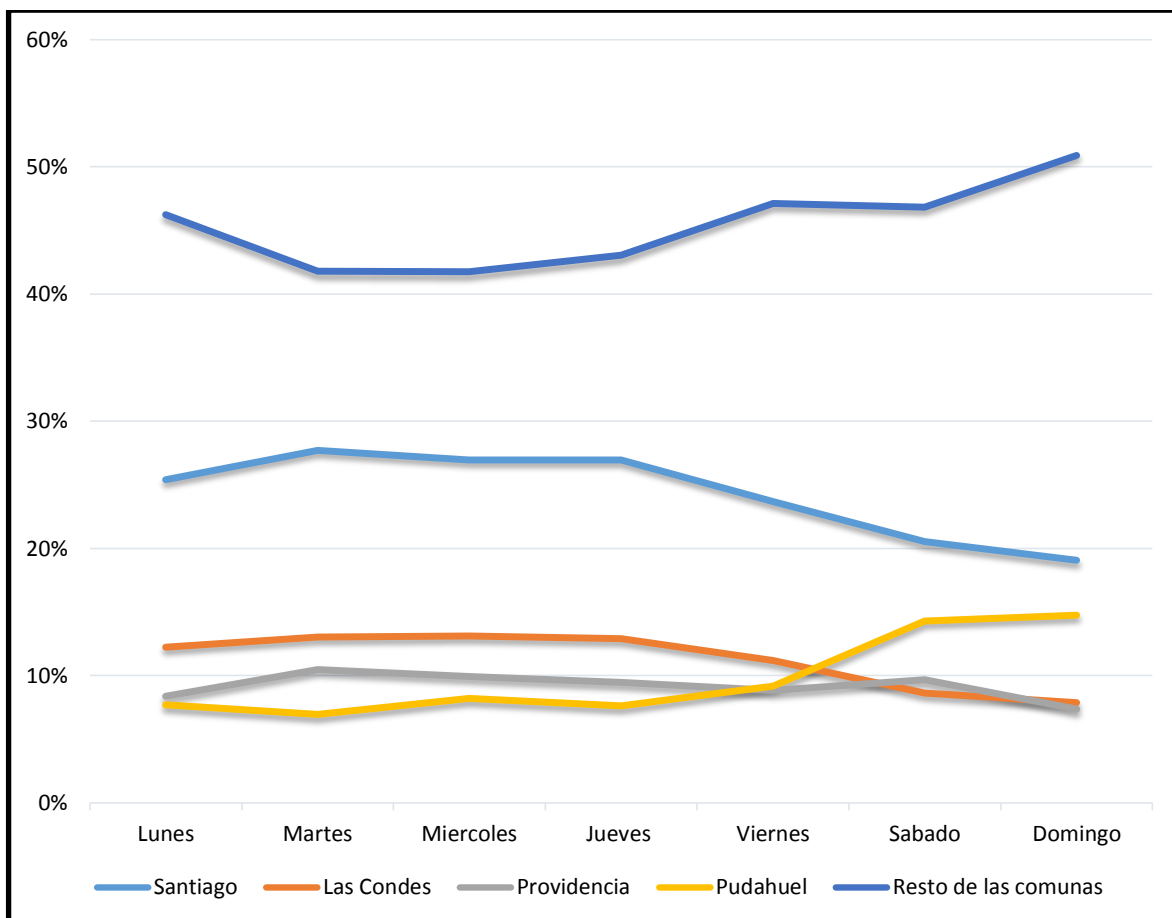


Figura 16: Distribución de la demanda porcentual por comuna de origen, Abril 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Al observar el gráfico anterior, se puede observar que para cada comuna existen pequeñas variaciones porcentuales en relación a cada día de la semana; las que se ven acentuadas durante los fines de semana. En promedio se observa una variación del 6,8% en la demanda porcentual asociada a las cinco series, indicador que se reduce al 6,2% al considerar únicamente las comunas de: Santiago, Las Condes, Providencia y Pudahuel. Así mismo, estos indicadores se reducen aún más al considerar únicamente los primeros cinco días de la semana alcanzando valores de 3,1% y 2,6% al solo considerar las cuatro comunas mencionadas anteriormente.

Del análisis anterior se puede concluir que existen diferencias considerables en relación a la naturaleza de la demanda entre los primeros cinco días de la semana y los días del fin de semana, por lo que desde acá en adelante únicamente se considerarán dentro del análisis los cinco días hábiles de la semana. En suma a lo anterior, los

pequeños valores asociados a la variación porcentual promedio de la demanda por comuna, permiten observar la presencia de una clara estacionalidad en la composición de esta.

A continuación se muestra la descomposición porcentual de la demanda para cada día de la semana en relación a las comunas de destino de cada carrera.

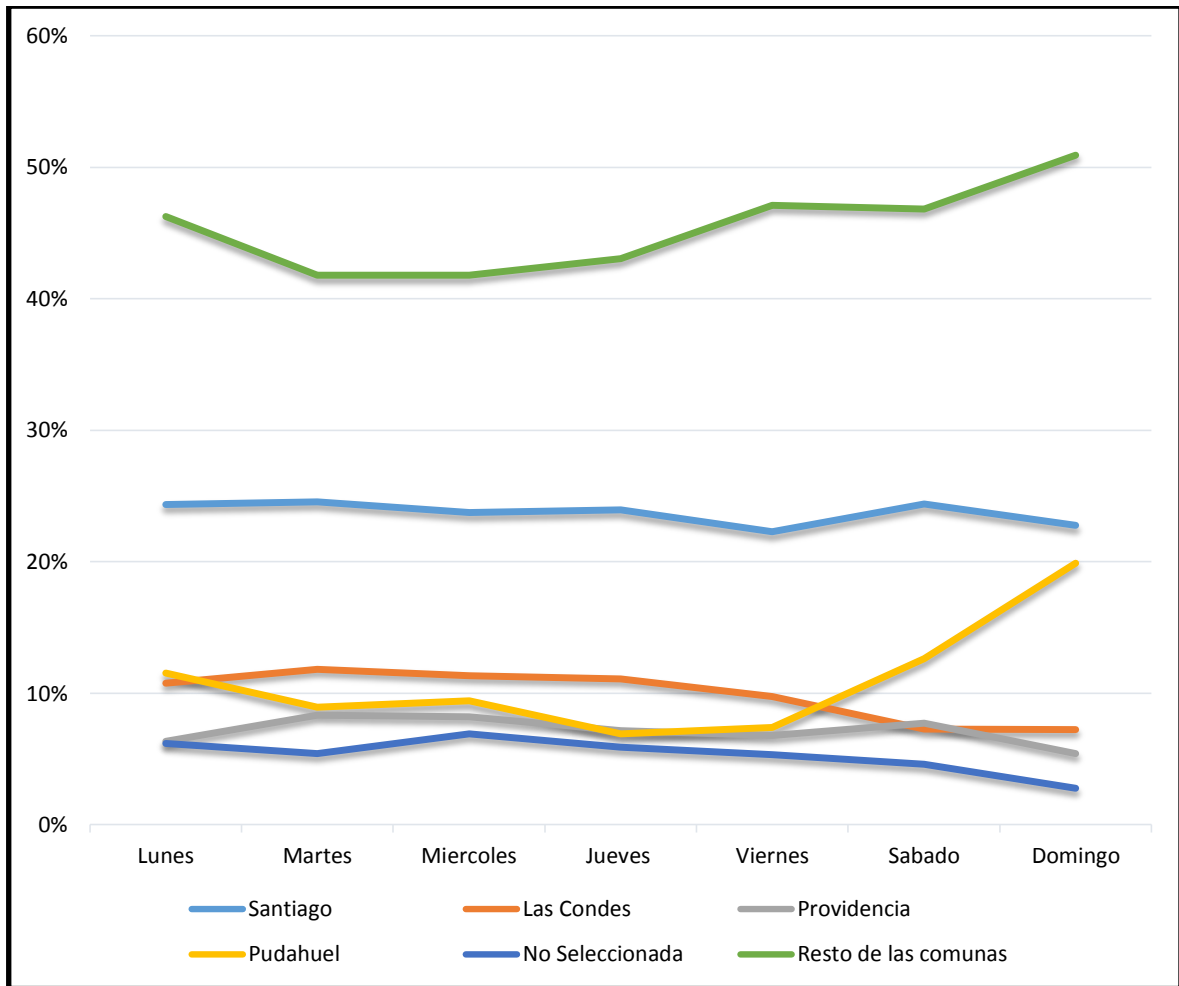


Figura 17: Distribución de la demanda porcentual por comuna de destino, Abril 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Al analizar los datos asociados a la demanda porcentual, según comuna de destino del mes de abril, se vuelven a detectar patrones similares. En este caso se observa una variación del 6% al considerar todas comunas de destino y la totalidad de los días de la semana, porcentaje que se reduce al 5,7% al solo considerar las comunas de Santiago,

Las Condes, Providencia y Pudahuel. Al solo considerar los primeros cinco días de la semana, ambos indicadores se ven significativamente reducidos alcanzando el 3% y 2,7% respectivamente.

Luego de estudiar la composición de la demanda de traslados asociada al tamaño de la ventana de tiempo, delimitada por el instante en que se recibe la llamada solicitando la carrera y el momento en que se debe recoger al pasajero; se obtuvieron los siguientes resultados asociados a los primeros cinco días de la semana y el tamaño de la ventana.

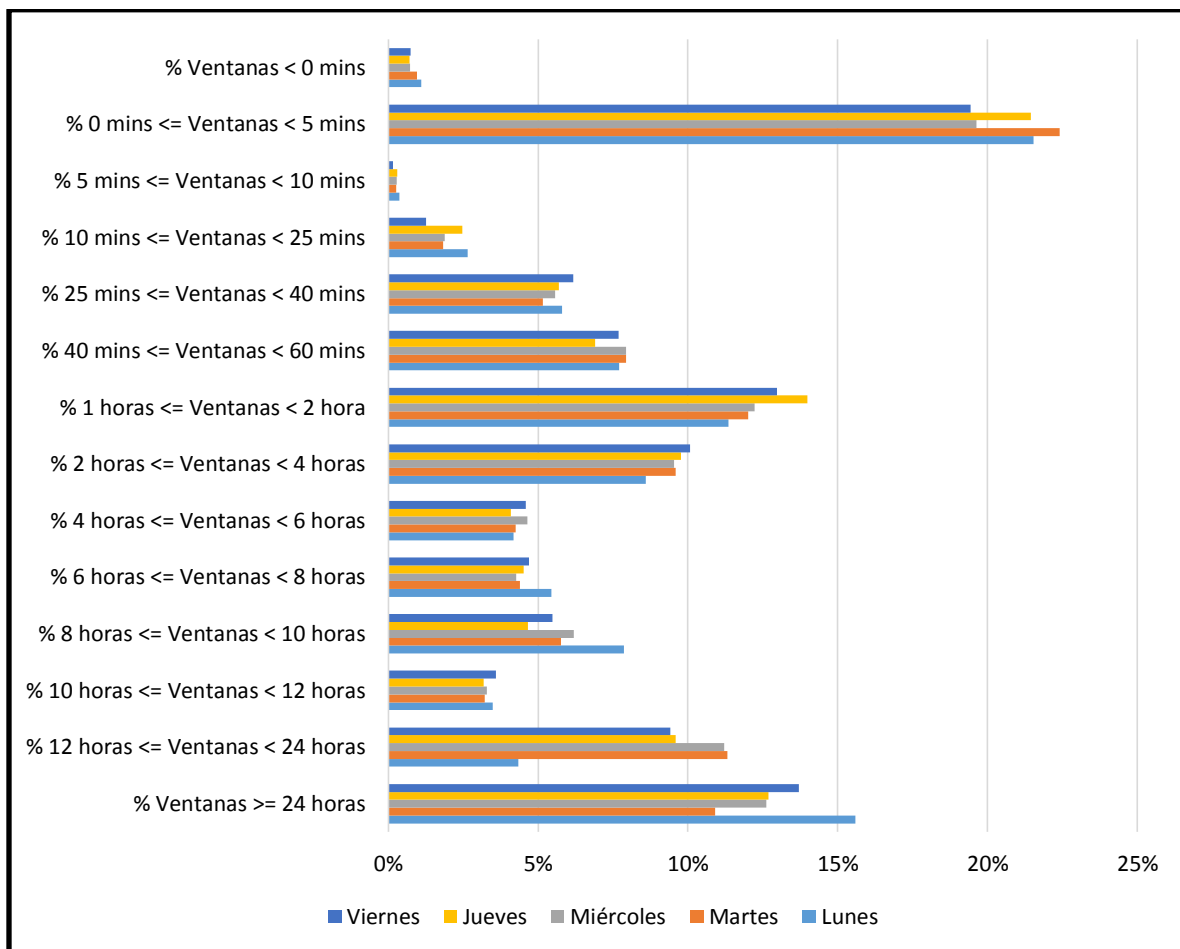


Figura 18: Distribución porcentual de la demanda por tipo de ventana y día, Abril 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Del gráfico anterior se desprende que para los primeros cinco días de la semana existe un fuerte grado de estacionalidad, respecto a cómo se distribuyen los porcentajes de la demanda total de carreras, en relación a los diferentes tipos de ventana. La desviación estándar promedio para la totalidad de los días es del 1%, mientras que la variación promedio entre el máximo y el mínimo de cada día solo alcanza el 2%. Al

observar la figura anterior llama la atención el hecho de que en cada día alrededor del 32% de la demanda corresponda a carreras con una ventana de tiempo menor a los 40 minutos; ya que One Radio Taxi implementó una política de asignación que considera que el tiempo mínimo para asignar y llevar a cabo cada carrera exitosamente es de 40 minutos.

A continuación se muestra como se distribuyeron porcentualmente en promedio las ganancias de One Radio Taxi durante el mes de abril 2014 según el tipo de ventana.

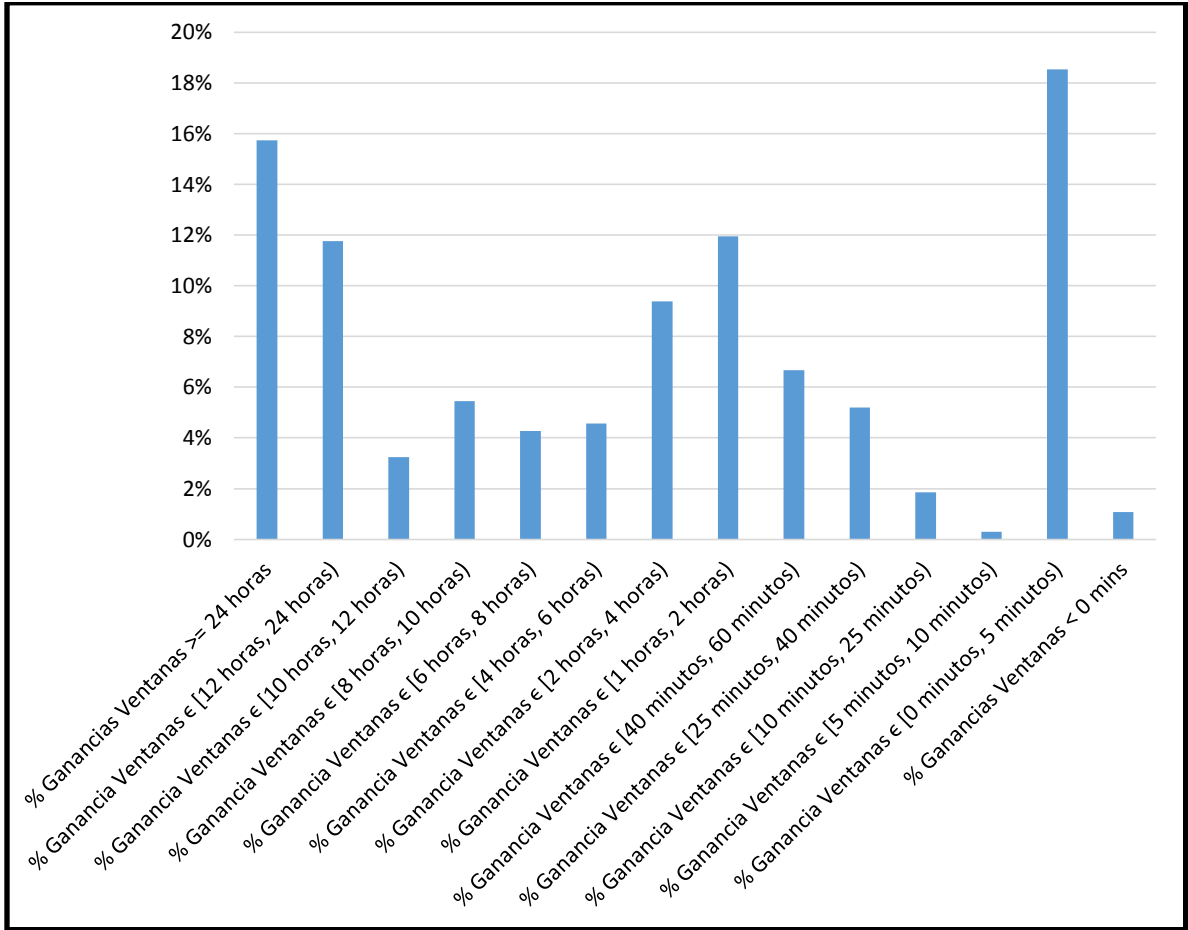


Figura 19: Distribución porcentual promedio de ganancias por tipo de ventana, Abril 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

De la figura anterior se puede observar que las ganancias de la empresa se distribuyen proporcionalmente a la cantidad de carreras realizada según el tipo de ventana. Además, se detecta fácilmente que las ganancias se concentran de manera significativa en cada uno de los extremos del gráfico, es decir, en ventanas superiores a 12 horas y menores a 15 minutos.

En la siguiente figura se muestra como se distribuyeron porcentualmente las ventanas de tiempo entre la hora de llamado y hora de recogida de cada carrera para cada hora del día.

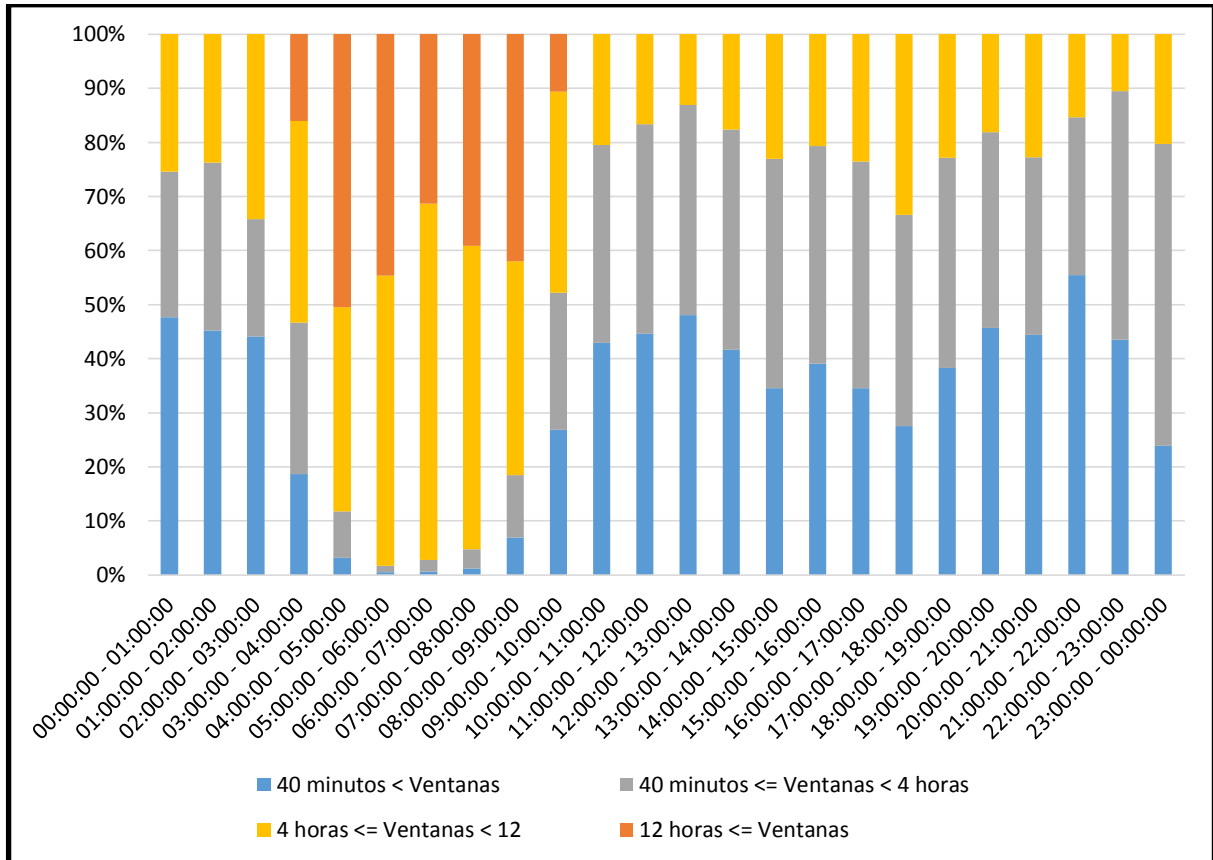


Figura 20: Porcentaje según tamaño de ventana respecto al total de solicitudes por horario.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

De la figura anterior se puede observar que existen periodos de tiempo durante el día para los que se solicitan traslados con mayor planificación, siendo las carreras a realizarse entre las 3 y 9 horas, las reservadas con mayor antelación. Así mismo, se observa que existe una porción significativa de las carreras que fue solicitada con una ventana menor o igual a los 40 minutos; salvo entre las 3 y 9 horas. Finalmente se concluye que para efectos prácticos existen tres tipos de ventana, las que poseen una distribución significativamente constante para cada bloque horario del día: entre 0 y 40 minutos, entre 40 minutos y 4 horas; y ventanas superiores a 4 horas.

Al analizar el proceso actual de asignación utilizado por One Radio Taxi, se observó que periódicamente se lleva a cabo un proceso de pre asignación de carreras.

Este proceso abarca diariamente en promedio el 45% del total de carreras asignadas por la empresa. A continuación se muestra un gráfico que despliega porcentualmente la cantidad de carreras pre asignadas en relación a su ventana de pre asignación. La ventana de pre asignación se define como la diferencia de tiempo entre la hora de recogida asociada a cada carrera y la hora en que se efectuó la pre asignación.

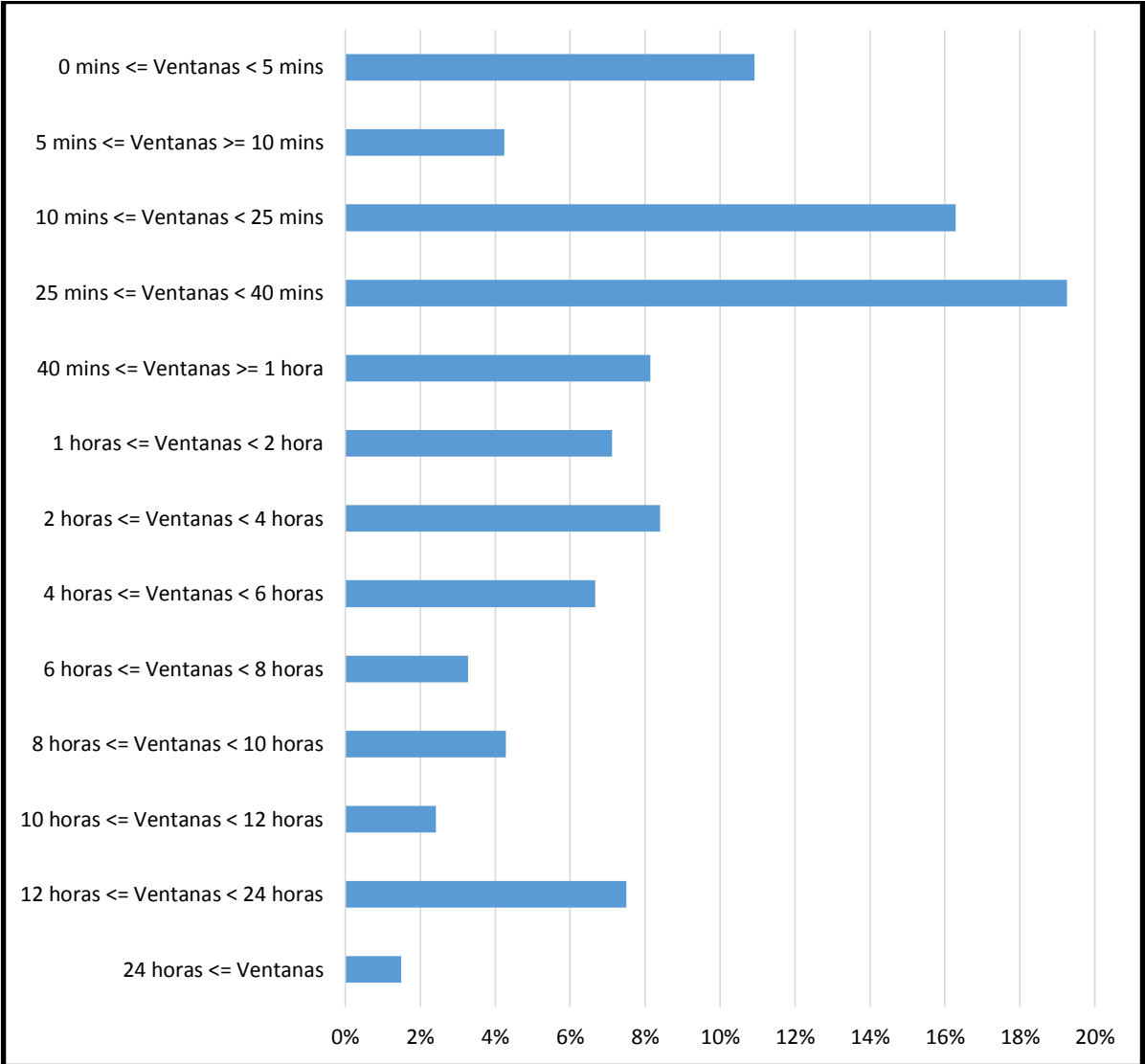


Figura 21: Porcentaje de Pre- asignación de carreras según tamaño de ventana.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Como era de esperarse hay una porción importante de las carreras que son pre asignadas con 40 o más minutos de anticipación, las que alcanzan el 48% del total de pre asignaciones. Llama la atención observar que exista un 52% de las carreras que son pre asignadas con ventanas menores a los 40 minutos, lo que va en contra de la política de asignación se One Radio Taxi.

Posteriormente se repitió el procedimiento de análisis para estudiar la distribución porcentual del proceso de asignación de la empresa. En este caso se observó cómo se distribuyen las carreras asignadas según la diferencia entre la hora de recogida de la carrera y la hora en que se asignó la carrera dentro del sistema Smart Taxi.

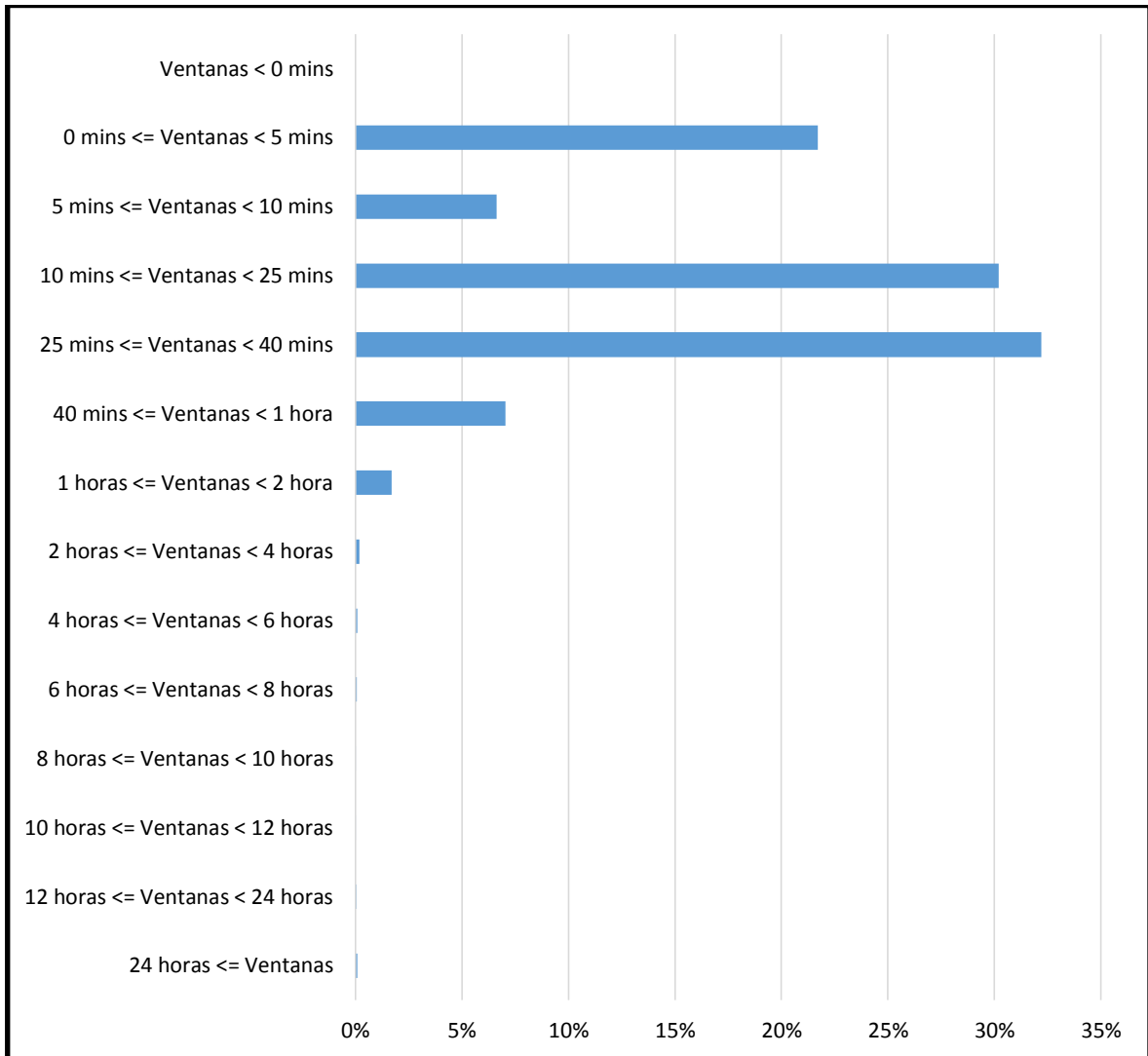


Figura 22: Porcentaje de asignación de carreras según tamaño de ventana.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Al analizar la figura anterior se observa rápidamente que el 91% de las carreras asignadas dentro del sistema poseen ventanas menores a los 40 minutos. Este hecho es un claro indicio de una falla en el diseño o uso del sistema SmartTaxi, ya que los datos no corresponden a las políticas operacionales de la empresa.

Posteriormente se analizó la puntualidad asociada a la flota de One Radio Taxi durante las tres semanas seleccionadas del mes de abril 2014. A continuación se muestra una tabla que contiene el tiempo promedio con que cada móvil se presenta en la ubicación de recogida del pasajero, la ventana promedio sin considerar atrasos y el atraso promedio sólo al considerar atrasos representados por ventanas de tiempo negativas. Cabe mencionar que la hora de llegada utilizada para calcular la ventana de tiempo con que los taxis se ubican al recoger al pasajero son ingresadas por cada chofer de la flota; por lo que la veracidad de este dato puede potencialmente verse alterada en pos de los intereses de cada conductor.

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio	Promedio sin martes
Fecha abril	7, 14 y 21	8, 15 y 22	9, 16 y 23	10, 17 y 24	11, 18 y 25		
Ventana promedio (minutos)	8	52	7	7	9	16	7
Ventana promedio (minutos) sin atrasos	19	53	18	18	20	26	19
Atraso promedio (minutos)	-7	-715	-8	-8	-7	-149	-8
Porcentaje de atrasos respecto al total	43%	0%	45%	43%	42%	34%	43%

Tabla 4: Tiempo promedio con que cada móvil se presenta en la ubicación de recogida del pasajero.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

De la tabla anterior rápidamente llama la atención la fuerte diferencia que tienen los datos asociados al día martes, lo que hace sugiere que existió un error dentro del proceso de registro de estos datos para ese día en particular. Al excluir los datos asociados a los días martes de abril, se puede observar que si bien el atraso promedio es de tan solo 8 minutos, el 43% de las carreras en promedio comienzan con algún grado

de atraso; lo que contradice considerablemente la estrategia de diferenciación asociada a la calidad de servicio definida por la empresa de transportes.

Con el objetivo de comprender de mejor manera los datos, se graficó el porcentaje de carreras con atraso en relación a la diferencia de tiempo entre el la hora en que el pasajero solicita su traslado y la hora de recogida solicitada; lo que se muestra a continuación.

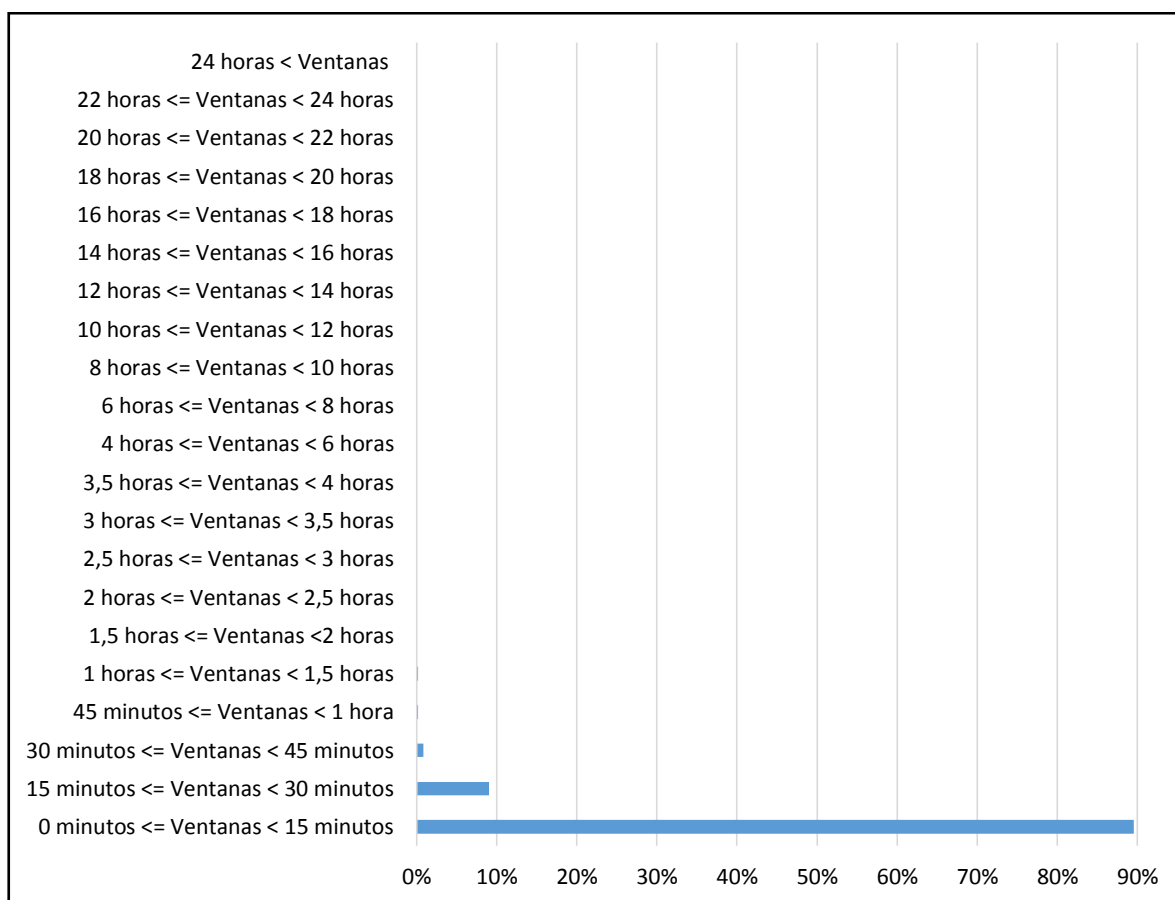


Figura 23: Porcentaje de atraso según tamaño de ventana.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

De la figura anterior se puede observar que en casi un 99% de las carreras en las que se registran atrasos corresponden a ventanas de menos de 30 minutos. Esto permite inferir que existe una holgura especial asociada a este tipo de servicio; mientras que en las carreras planificadas con más de 40 minutos de anticipación prácticamente no existen casos de atrasos, lo que se condice con las políticas de calidad de servicio de One Radio Taxi.

A continuación se procedió a estudiar la distribución porcentual de carreras según la duración de su recorrido desde que se recoge hasta que termina el recorrido del pasajero, lo que se muestra en la siguiente gráfico.

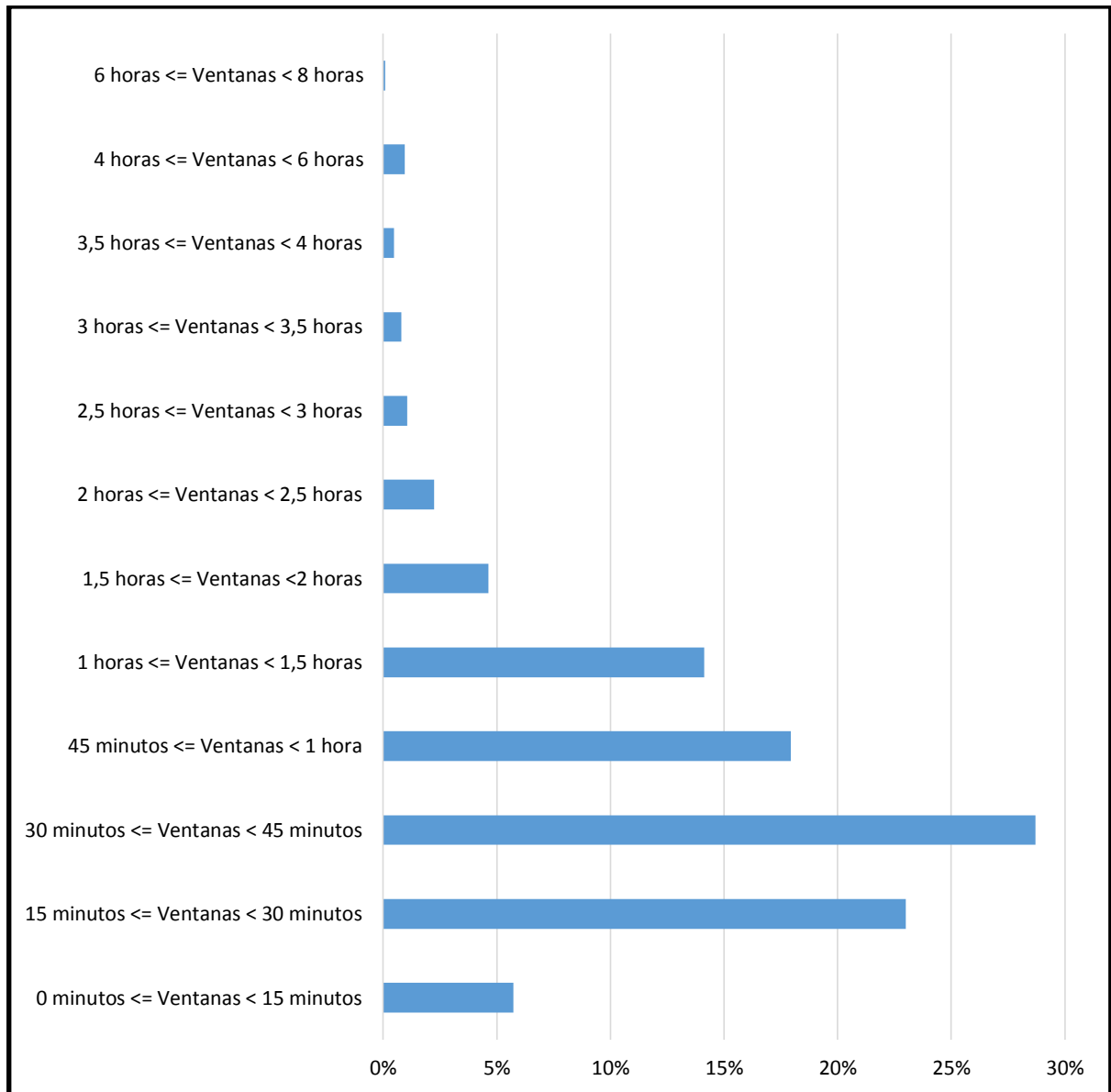


Figura 24: Porcentaje promedio de duración de carreras respecto al total, según el tamaño de ventana.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

Como se observa de la figura anterior, aproximadamente el 70% del total de las carreras realizadas en las tres semanas seleccionadas de abril duraron entre 15 y 45 minutos. A continuación se muestra como se distribuyen las carreras en relación a su duración según la hora del día.

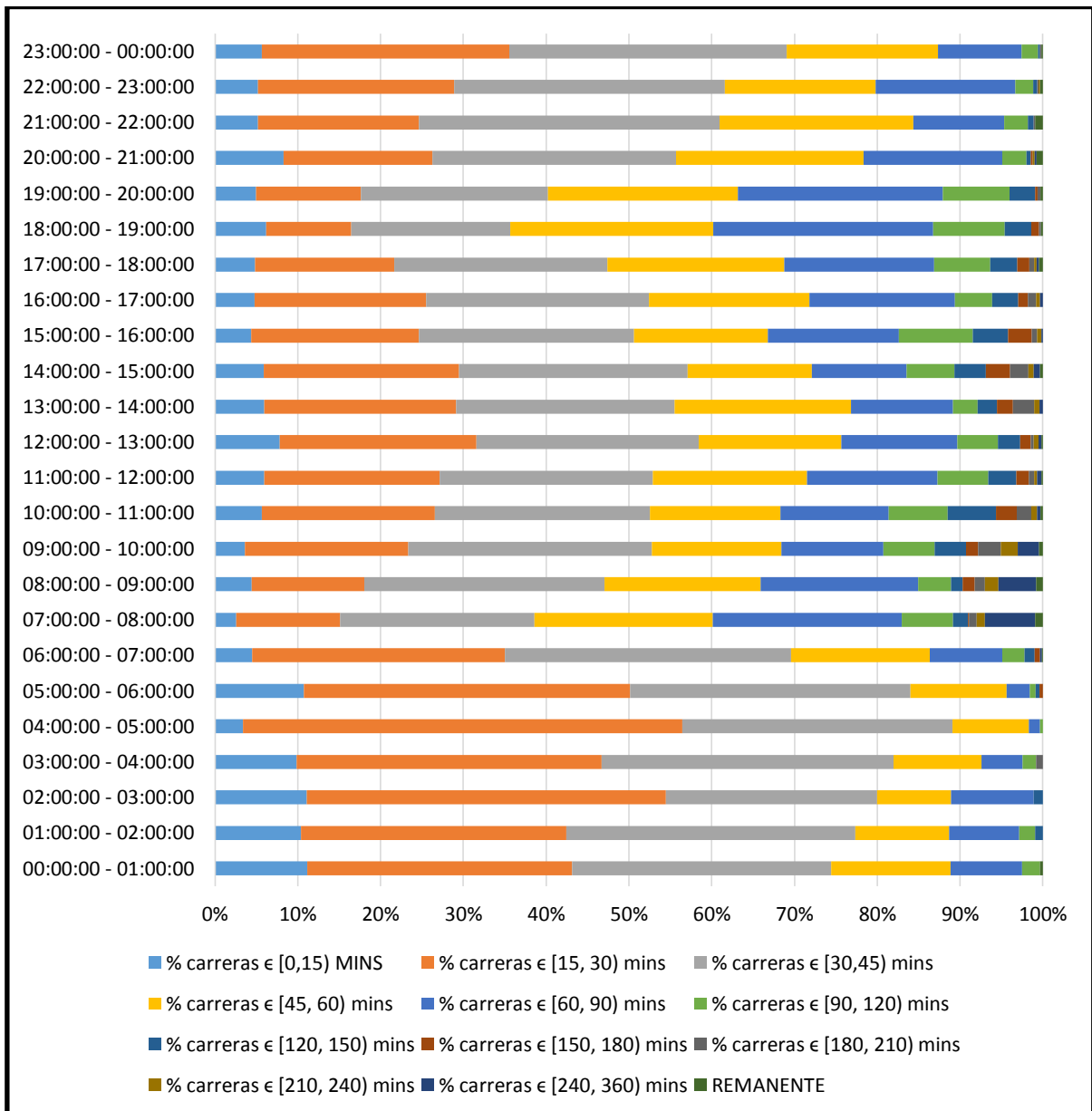


Figura 25: Distribución porcentual según duración de la carrera y hora del día, Abril 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi).

De la figura anterior se puede observar fácilmente un incremento en el largo de las carreras durante las horas de mayor congestión vehicular. Claramente se ve un incremento en la duración de las carreras desde las 7 hasta las 11 horas, luego una disminución leve durante las primeras horas después del mediodía, para luego volver a presentar un incremento desde las 16 hasta las 21 horas; y finalmente se vuelve a observar una disminución las ventanas de tiempo hasta las 0 horas.

Posteriormente se analizó la composición de los clientes que solicitan las distintas carreras. Dentro del sistema SmartTaxi existen dos macro categorías de cliente,

personas particulares y empresas con convenio con One Radio Taxis; siendo la segunda categoría la de mayor valor estratégico para One. A continuación se presenta una tabla que muestra la proporción con la que cada tipo de cliente solicita servicios de traslado para cada día de la semana de las tres semanas del mes de abril seleccionadas para este análisis.

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio
Cliente particular	26	17	17	13	10	17
Cliente empresa	2.988	3.437	3.540	3.377	2.434	3.155
Total	3.014	3.454	3.557	3.390	2.444	3.172
% Clientes particulares	0,86%	0,56%	0,56%	0,43%	0,33%	0,55%
% Clientes empresas	99,14%	99,51%	99,52%	99,62%	99,59%	99,47%

Tabla 5: Proporción entre tipo de cliente en relación a servicios de traslado por día de la semana, Abril 2014.

(Fuente: Sistema computacional SmartTaxi.)

De la tabla anterior es claro que la cantidad de clientes particulares que utilizan los servicios de transporte ofrecidos por One Radio Taxi es poco significativa, por lo que sin importar la naturaleza de la carrera se puede considerar que siempre esta obedece a necesidades del segmento objetivo al que One se enfoca.

3.6.3 Validación y calidad de la data

Con el objetivo de validar la información exhibida en la sección anterior, esta se le presentó al gerente de operaciones de Radio Taxi One, al gerente comercial de Fantáxico y al gerente de operaciones de SmartDici. En relación a lo anterior se obtuvieron las siguientes observaciones:

- En relación al estudio generalizado de la demanda la información expuesta es totalmente concordante con la realidad operativa de Radio Taxi One.
- Respecto a las solicitudes de traslado agrupadas según comuna de destino, existe un menor grado de rigurosidad asociado al registro de la dirección de destino al comparar el proceso respecto al registro de la dirección de origen. Esto se debe principalmente a que se puede verificar la dirección de destino con el pasajero una vez que este es recogido y comienza el traslado.
- En relación a la distribución porcentual de la demanda respecto a la diferencia de tiempo entre la llamada de solicitud de traslado y la hora de recogida programada; se indicó que el sistema SmartTaxi encargado de registrar las solicitudes de

traslado, ingresa automáticamente ventanas de tiempo de cinco minutos en el caso de no especificarse una hora de recogida.

- Se indicó que existe una categoría especial de solicitudes de traslado conocidas dentro de la empresa como “carreras de momento” o “carreras inmediatas”. Este tipo de carreras tiene la particularidad que, dado la poca anticipación con que se solicitan y las limitaciones circunstanciales que pudiese presentar su flota, One Radio Taxi, solo garantiza una hora aproximada al pasajero.
- Lo anterior también explica el alto número de registros de carreras con atraso, y cómo este indicador se concentra primordialmente en carreras solicitadas con menos de 40 minutos de anticipación.
- En relación a la distribución uniforme de ganancias acorde al número de carreras asociadas a cada tipo de ventanas; esta se condice con la políticas de tarifado adoptadas por One Radio Taxi. Lo anterior sumado a la composición de los clientes de la compañía hacen que, en términos de ingresos, no existan carreras a priori más importantes que otras en relación a las ventanas de llamado-recogida.
- A pesar que las carreras más largas implican un ingreso mayor para One Radio Taxi, dado que esta compañía debe cumplir contratos con niveles de servicio mínimos con cada uno de sus clientes; cada carrera es tratada de igual forma con el objetivo de maximizar el total de carreras realizadas por la flota.
- Se indica que debido a falencias en la utilización del sistema SmartTaxi se realiza un número considerable de pre asignaciones con ventanas de poco tamaño que debiesen corresponder a asignaciones directas dentro del sistema. En relación a lo anterior, si bien los gráficos que muestran las ventanas de pre asignación y asignación de carreras reflejan la utilización real del sistema; estas no condicen las políticas de asignación diseñadas por la compañía.

3.7 Identificación de aspectos mejorables

Luego de un análisis conjunto del proceso de asignación de carreras previo a la realización del proyecto, y de los datos almacenados en los sistemas informáticos de Fantáxico, se concluyó que existen oportunidades de mejoras asociadas al proceso de asignación de carreras efectuado por el locutor de la flota de radio taxis. Lo anterior se debe principalmente a la utilización de un criterio de asignación cuyo objetivo principal es garantizar la hora de recogida solicitada por el cliente, y a las limitaciones propias de la asignación manual de servicios; la que restringe la utilización de criterios de asignación que consideren un mayor número de factores debido a limitaciones computacionales.

A continuación se mencionarán todos los aspectos potencialmente mejorables respecto a la estrategia de asignación manual utilizada por One Radio Taxi.

1. **Cantidad diaria de carreras atendidas por la flota:** Se detectó que existe demanda no satisfecha asociada principalmente a carreras de momento; la que potencialmente puede ser absorbida en base a una política de asignación más eficiente.
2. **Cantidad diaria de kilómetros sin pasajeros recorridos por la flota:** Debido a que la política de asignación utiliza bases o zonas geográficas para determinar la atención de carreras, en muchos casos se asigna a móviles que se encuentran a mayor distancia del lugar de recogida del pasajero, que vehículos en zonas colindantes o incluso en la misma zona.
3. **Tiempo muerto previo a la realización de una carrera:** Ya que existe una política de asignación, que considera que se necesitan 40 minutos previo al comienzo de una carrera para garantizar la llegada a tiempo del móvil asignado, en muchos casos los vehículos llegan con excesiva anticipación al lugar de recogida, disminuyendo la capacidad potencial total de la flota. Se sugiere que esta ventana debiese variar en relación a factores como el nivel de tráfico o la proximidad del móvil.
4. **Cantidad de carreras diarias realizadas por móvil:** Se detectó que el sistema actual de asignación no considera una distribución equitativa de carreras entre los diferentes choferes de la flota. Si bien la política de asignación en base a zonas permite que los conductores conozcan su lugar en la cola de asignación de su zona actual, esta no garantiza equidad en la distribución. Se observó que existen múltiples casos de choferes que abandonan la empresa al realizar un bajo número de carreras al día, lo que significa una disminución inmediata en la capacidad de la flota de One Radio Taxi; ya que en la mayor parte de los casos se llevan consigo el vehículo con licencia de radio taxi.
5. **Homogeneidad en el mecanismo de asignación:** Se observó que debido al componente humano dentro del proceso de asignación existe una alta variabilidad en los resultados tanto del proceso de pre asignación como el de asignación final. Lo anterior repercute tanto en la calidad de servicio entregada a los clientes de la empresa, como en la cantidad con que se distribuyen las oportunidades de trabajo entre los choferes de la empresa.
6. **Incremento en la calidad de los datos almacenados:** Se observó que debido al componente humano asociado al uso de los sistemas tecnológicos y a la posterior detección en la operación de datos erróneos dentro del sistema, se ingresan diferentes datos de manera poco rigurosa.

4. Rediseño

A lo largo de este capítulo se presentará el rediseño que se efectuó durante el proyecto; estableciendo las direcciones de cambio y los beneficios que se intentan alcanzar en base a este.

4.1 Criterio objetivo del rediseño

Luego de considerar los diferentes aspectos potencialmente mejorables asociados al mecanismo de asignación de Astral Radio Taxi, se optó por rediseñar el proceso de asignación con el fin de reducir la distancia diaria recorrida por la flota de la empresa. Lo anterior es análogo a reducir la distancia recorrida por la flota sin pasajeros. Los beneficios de reducir este indicador se encuentran explicados al final de este capítulo.

4.2 Rediseño del mecanismo de asignación

En base al estudio de los datos operacionales, el entendimiento del negocio y el estado del arte de los sistemas de asignación automáticos; se llegó a la conclusión que un sistema de asignación automática de naturaleza híbrida, es el que mejor se adapta a las necesidades y objetivos de One Radio Taxi. Al referirse a un sistema de asignación híbrido, se hace alusión a una estrategia tal que utilice mecanismos de asignación diferentes para solicitudes de traslado de distinta naturaleza. En base a la información recopilada hasta este punto, se definió que la característica más adecuada para categorizar las carreras, es la diferencia de tiempo entre la hora en que esta es solicitada y la hora en que se debe recoger al pasajero. Respecto al criterio anterior se definieron dos categorías de carrera, las con ventanas superiores e inferiores a 12 horas.

Cabe destacar que una limitación de diseño impuesta por la empresa One Radio Taxi, fue el desarrollar un rediseño que lograra aprovechar e integrarse con los sistemas informáticos pre existentes sin la necesidad de modificarlos en profundidad.

4.2.1 Mecanismo de asignación dinámica

A continuación se presenta un diagrama que permite visualizar la estrategia de asignación de carreras con ventanas de asignación menores a 12 horas. Este proceso de asignación de carreras fue diseñado para operar continuamente y ser capaz de asignar la totalidad de solicitudes de traslado asociada a una compañía de radio taxis. Debido a lo anterior, el sistema está habilitado para atender carreras de momento, así como también carreras con ventanas de cualquier tamaño en caso de ser requerido.

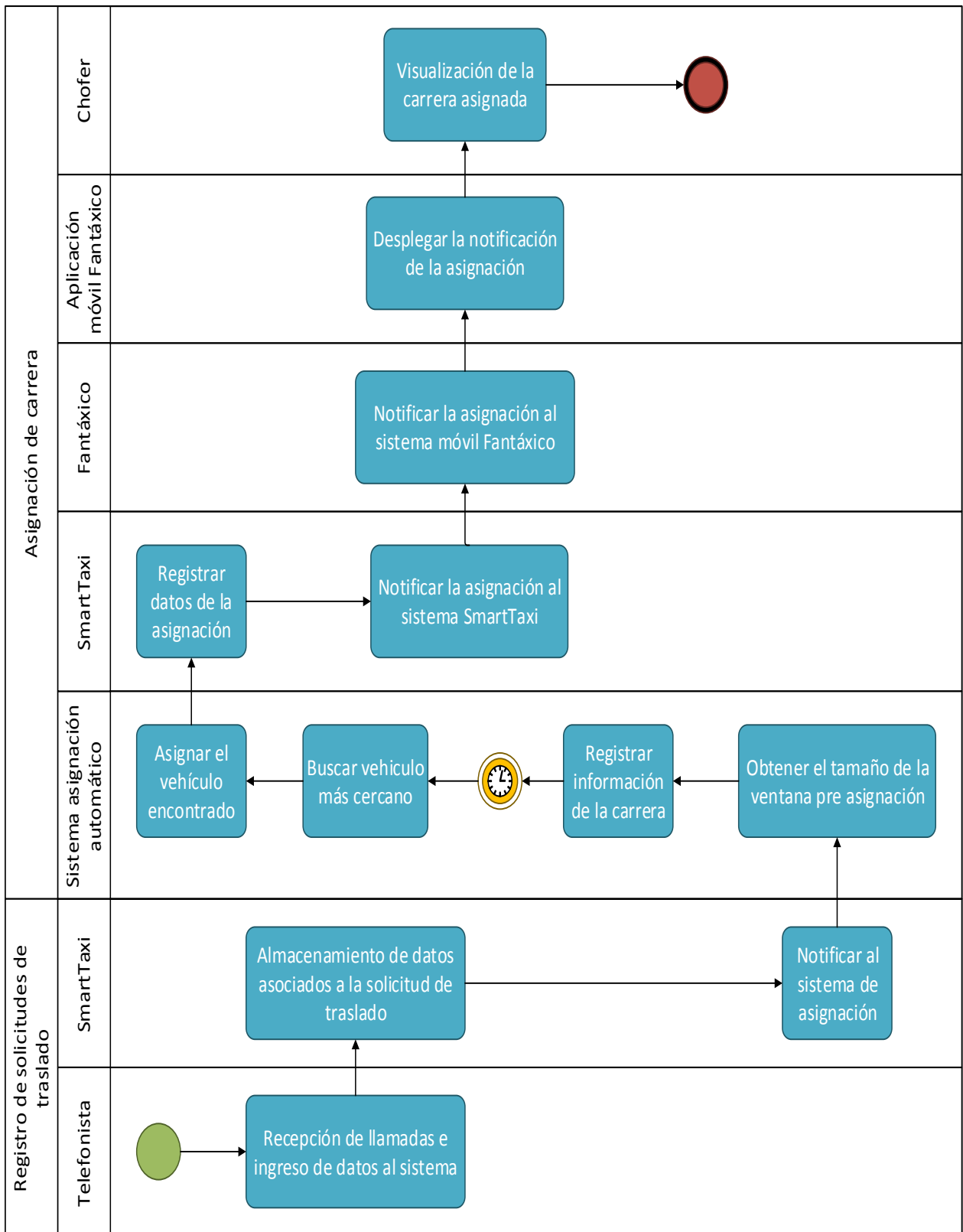


Figura 26: Diagrama BPMN de la estrategia de asignación de carreras con ventanas de tiempo menores a 12 horas.

(Fuente: Elaboración propia).

Descripción de actividades:

Telefonista



Llamada cliente: Inicio del proceso de registro de solicitud de traslado.



Recepción de llamadas e ingreso de datos al sistema: La telefonista ingresa los datos asociados a la solicitud de traslado y al sistema SmartTaxi.

SmartTaxi



Almacenamiento de datos asociados a la solicitud de traslado: Se registran los datos en la base de datos del sistema SmartTaxi.



Notificar al sistema de asignación: El sistema SmartTaxi notifica mediante una API el ingreso de una nueva carrera al sistema Fantáxico.



Registrar datos de la asignación: Se almacenan los datos asociados a la carrera asignada en la base de datos del sistema SmartTaxi.



Notificar al sistema de Fantáxico: El sistema SmartTaxi notifica y envía los datos asociados a la asignación realizada al sistema Fantáxico mediante una API.

Sistema de asignación automático



Obtener ventana pre asignación: En relación a la hora y lugar de recogida del pasajero asociado a cada una de las carreras ingresadas al módulo de asignación, se calcula la anticipación con que se debe generar la asignación correspondiente. Las carreras con recogidas en horarios y/o lugares de mayor tráfico vehicular se asignan con mayor anticipación que carreras en horarios valle. La salida de esta operación consiste en la fecha y hora en que el sistema deberá asignar la carrera de entrada.



Registrar la información de la carrera: Se almacenan dentro de las estructuras de datos utilizadas por el módulo de asignación, las características significativas para la estrategia de asignación asociadas a la nueva carrera ingresada desde SmartTaxi. Dentro ellas se encuentra: la hora y lugar de recogida del pasajero además de la fecha y hora de pre asignación previamente calculadas por el sistema.



El módulo espera hasta que la fecha y hora del sistema coincida con la de asignación calculada previamente para la carrera ingresada. Debido a lo anterior, el módulo de asignación puede manejar tanto carreras de momento como carreras reservadas con anticipación.



Buscar el vehículo más cercano: Una vez alcanzada la hora de asignación asociada a cada carrera, el módulo de asignación busca en base a la geo ubicación de los móviles obtenida del sistema Fantáxico, el vehículo más cercano que cumpla con los requerimientos de traslado especificados previamente.



Asignar el vehículo encontrado: Una vez seleccionado el móvil para cubrir una carrera en particular, el módulo de asignación se comunica con SmartTaxi para registrar la asignación. Una vez efectuada la asignación, se elimina de las estructuras de datos del sistema de asignación la información asociada a la carrera ya asignada.

Fantáxico



Notificar la asignación al sistema móvil Fantáxico: Se envían los datos asociados a la asignación realizada a través de una API a la aplicación móvil de Fantáxico.

Aplicación móvil Fantáxico



Desplegar la notificación de la asignación: A través de la aplicación móvil instalada en el teléfono celular del chofer correspondiente a la asignación realizada se despliega la información asociada a la carrera por realizar.

Chofer



Visualización de la carrera asignada: Mediante la aplicación móvil de Fantáxico el chofer asignado puede ver la información pertinente a la carrera que el sistema le encomendó cubrir.



El proceso de asignación de asignación de la carrera concluye.

Consideraciones respecto al mecanismo de asignación dinámica

1. El módulo de asignación dinámica calculará la hora en que una carrera debe ser asignada por el sistema en base a los datos asociados a la demanda de traslados presentado en el capítulo anterior. Este parámetro podrá ser modificado acorde a las necesidades empíricas observadas durante a la operación del sistema.
2. Con el objetivo de calcular las distancia más cercana entre dos puntos, el sistema de asignación dependerá de un servicio de geo referencia externo que

considere en su cálculo la existencia y sentido de las calles de Santiago. Entre las alternativas existentes se encuentran los servicios ofrecidos por Google Maps o Bing Maps, entre otros.

3. Con el objetivo de analizar si un vehículo de la flota alcanza a recoger a un pasajero a una hora estipulada, el módulo de asignación dinámico calcula la velocidad de desplazamiento promedio acorde al horario en que se esté desplazando el móvil. Las velocidades de desplazamiento promedio relativas a cada hora del día fueron calculadas en base a los datos GPS asociados a la flota de One Radio Taxi para un periodo de diez días durante el mes de enero del 2015. En caso de ser necesario este parámetro puede ser ajustado acorde a las necesidades operativas de la flota acorde al mes del año correspondiente.

4.2.2 Mecanismo de asignación estática

A continuación se muestra un diagrama que permite visualizar el proceso de asignación de carreras con ventanas de tiempo superiores a 12 horas. Este sistema fue concebido como un sistema de apoyo que permite asignar carreras mediante heurísticas de mayor precisión, aprovechando el tiempo de procesamiento disponible asociado a las ventanas de mayor duración. A diferencia del mecanismo descrito en la sección anterior, este no fue diseñado para asignar carreras de momento; sino que para emular el proceso de pre asignación realizado cada tarde por One Radio Taxi.

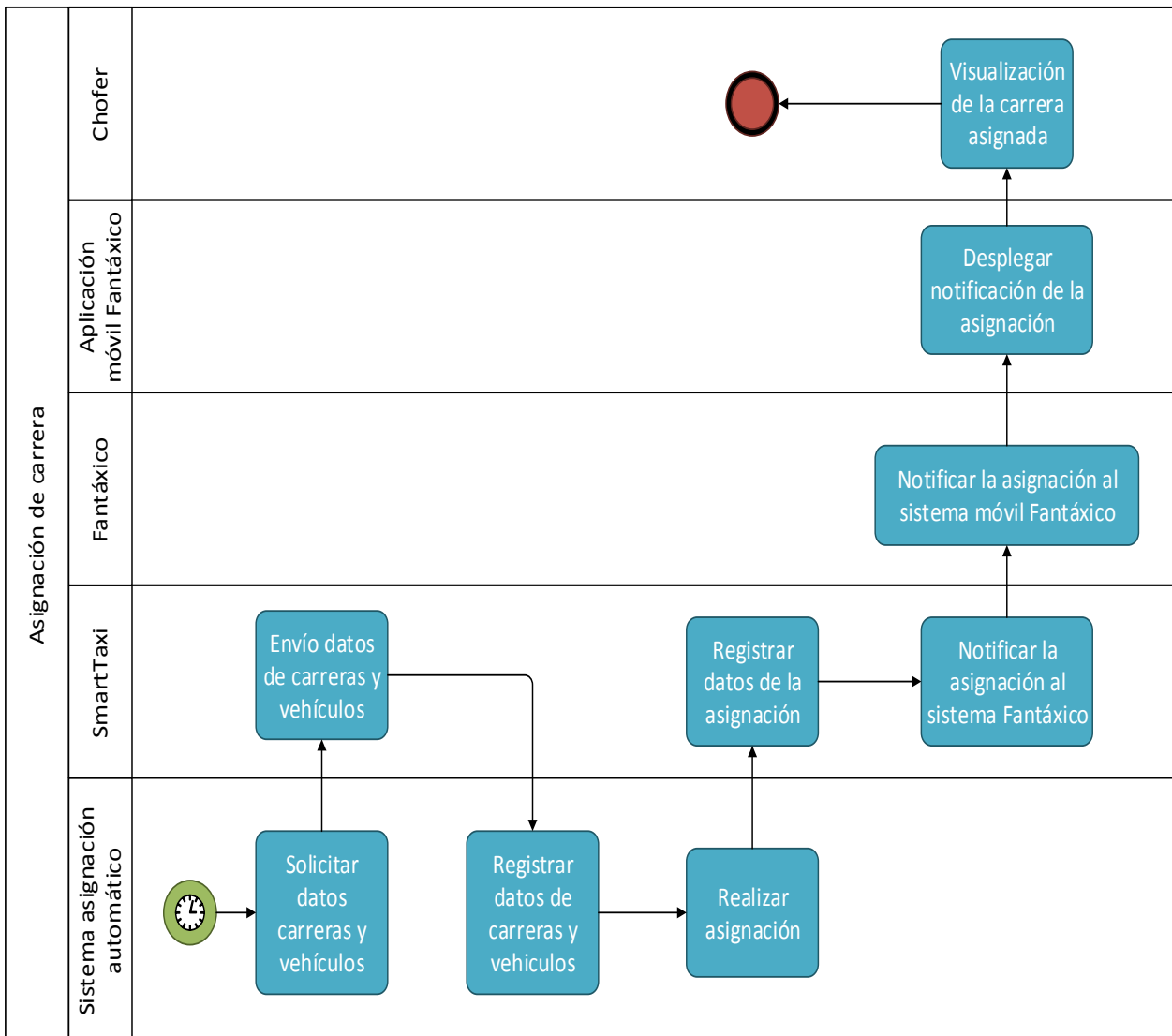


Figura 27: Diagrama de asignación de carreras con ventanas de tiempo superiores a 12 horas.

(Fuente: Elaboración propia).

Descripción de actividades:

Sistema de asignación automático



Evento de inicio: El evento de inicio está dado por una o varias horas durante el día arbitrariamente definidas. Inicialmente se definió que este proceso iniciará a las 19 horas.



Solicitar datos carreras y vehículos: Con el objetivo de configurar la herramienta de optimización de rutas se solicitan los móviles activos durante el siguiente turno, su ubicación inicial y las carreras a ser asignadas.



Registrar datos de carreras y vehículos: Una vez que se cuenta con los datos necesarios, estos son almacenados dentro de las estructuras de datos requeridas para ejecutar el mecanismo de optimización de rutas.



Realizar la asignación: El módulo de asignación ejecuta el mecanismo de optimización en base a los parámetros definidos previamente y calcula la asignación de carreras óptima en base a un criterio de minimización de distancia recorrida por la flota. Una vez obtenidos los resultados de este proceso, estos son registrados dentro del sistema SmartTaxi.

SmartTaxi



Envío datos carrera y vehículos: Se envían los datos asociados a los móviles activos durante el siguiente turno, su ubicación inicial y las carreras a ser asignadas.



Registrar datos de asignación: El sistema SmartTaxi ingresa en su base de datos los datos asociados a las diferentes asignaciones realizadas.



Notificar las asignaciones a Fantáxico: Una vez registradas las asignaciones dentro del sistema, se envía una notificación a través de una API al sistema SmartTaxi con todas las carreras que fueron asignadas.

Fantáxico



Notificar la asignación al sistema móvil Fantáxico: Se envía una notificación a la aplicación móvil de Fantáxico instalada en teléfono celular de cada móvil asignado con la información pertinente a la carrera que debe cubrir.

Aplicación móvil Fantáxico



Desplegar la notificación de la asignación: A través de la aplicación móvil instalada en el teléfono celular del chofer correspondiente a la asignación realizada se despliega la información asociada a la carrera por realizar.

Chofer



Visualización de la carrera asignada: Mediante la aplicación móvil de Fantáxico el chofer asignado puede ver la información pertinente a la carrera que el sistema le encomendó cubrir.



El proceso de asignación de carrera concluye.

Consideraciones respecto al mecanismo de asignación estático

1. El módulo de asignación estático de carreras encuentra el conjunto de rutas óptimas en base a la resolución de un problema de programación lineal (PPL) que modela la problemática de recogida y traslado de pasajeros a la que se enfrentan las empresas de radio taxis. Dado este caso de estudio, el problema se modeló como un problema de programación mixta entera, el que se presenta al finalizar esta sección.
2. Con el objetivo de calcular la asignación óptima de rutas, cada vez que se ejecuta el módulo de asignación estático, este construye archivos acorde al lenguaje computable asociado al sistema General Algebraic Modeling System (GAMS). Una vez construidos los archivos ejecutables, GAMS resuelve el problema de programación planteado encontrando el conjunto de rutas óptimas, las que posteriormente son recopiladas e ingresadas al sistema SmartTaxi.
3. El módulo de asignación estático realiza la asignación de carreras en base a una matriz, la que especifica las distancias entre cada: punto de partida de los móviles, el lugar de recogida y el destino de cada carrera. Con el objetivo de calcular la distancia entre dos puntos, el sistema de asignación dependerá de un servicio de geo referencia externo que considere en su cálculo la existencia y sentido de las calles de Santiago.

4. Con el objetivo de analizar si un vehículo de la flota alcanza a recoger a un pasajero a la hora estipulada, el módulo de asignación estático calcula la velocidad de desplazamiento promedio acorde al horario en que se esté desplazando el móvil. Las velocidades de desplazamiento promedio relativas a cada hora del día, fueron calculadas en base a los datos GPS asociados a la flota de One Radio Taxi para un periodo de diez días durante el mes de enero del 2015. En caso de ser necesario este parámetro puede ser ajustado acorde a las necesidades operativas de la flota acorde al mes del año correspondiente.

Problema de programación lineal resuelto por el módulo de asignación estático¹⁰

Notación y parámetros:

nc	Número de carreras por asignar.
np	Número de vehículos disponibles en la flota.
$P = \{1, \dots, np\}$	Conjunto de puntos de origen de cada vehículo.
$O = \{(np + 1), \dots, (np + nc)\}$	Conjunto de puntos de origen de cada carrera.
$D = \{(np + nc + 1), \dots, (np + 2 \cdot nc)\}$	Conjunto de puntos de destino de cada carrera.
$N = P \cup O \cup D$	Conjunto de nodos de un grafo.
$K = (1, \dots, np)$	Conjunto de vehículos disponible en la flota.
$G = (N, A)$	Grafo dirigido en base al que el problema está definido. "A" es el conjunto de bordes que unen a los diferentes nodos entre sí.
TR_i	Tiempo de recogida del pasajero en el nodo i , siendo el nodo i un nodo de origen asociado a una carrera.
$t_{i,j}$	Tiempo requerido para desplazarse desde el nodo i hacia el nodo j . ¹¹
TA	Tiempo de retraso permitido por el modelo.
TAN	Tiempo de anticipación permitido por el modelo.

¹⁰ Una porción considerable de este modelo fue adaptada de la fuente: Jean-François Cordeau, A Branch-and-Cut Algorithm for the Dial-a-Ride Problem, technical report CRT-2004-23.

¹¹ Se asume que se cumple la desigualdad triangular.

T_{CONT}	Tiempo promedio que demora un pasajero en abordar el taxi, una vez que un móvil llega a la ubicación de recogida
M	Constante numérica grande.
$c_{i,j}$	Costo de viajar desde el nodo i hacia el nodo j . ¹² Para este caso en particular el costo es la distancia recorrida entre los nodos.

Tabla 6: Notación y parámetros modelo programación mixta entera.

(Fuente: Elaboración propia).

Variables de decisión

Variables binarias

$$X_{i,j}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in K$$

Esta variable representa si se asigna al vehículo k el recorrido desde el nodo i hacia el nodo j . La variable toma valor 1 si se decide asignar el recorrido y 0 de lo contrario.

Variables Continuas

$$TV_i^k$$

Esta variable representa el tiempo en que vehículo k visita el nodo i .

Restricciones

Cada solicitud de traslado es atendida exactamente una vez.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} X_{i,j}^k = 1 \quad \forall i \in O$$

Todo vehículo comienza su recorrido en su punto de origen en caso de ser utilizado.

$$\sum_{j \in N} X_{i,j}^k \leq 1 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \mid i = k$$

¹² Se asume que se cumple la desigualdad triangular.

El mismo vehículo que entra a un nodo debe salir de él.

$$\sum_{j \in N} X_{j,i}^k \geq \sum_{j \in N} X_{i,j}^k \quad \forall i \in O \cup D$$

Todos los vehículos visitan su punto de partida en el tiempo 0.

$$TV_i^k = 0 \quad \forall i \in P, \forall k \in K \mid i = k$$

Todo vehículo debe llegar al punto de recogida asignado con máximo TA minutos de atraso.

$$(TR_j + TA) \cdot \sum_{i \in N} X_{i,j}^k \geq TV_j^k \quad \forall j \in O, \forall k \in K$$

Todo vehículo debe llegar al punto de recogida asignado con máximo TAN minutos de anticipación.

$$(TR_j - TAN) \cdot \sum_{i \in N} X_{i,j}^k \leq TV_j^k \quad \forall j \in O, \forall k \in K$$

El tiempo en que un vehículo visita un nodo, debe ser menor al tiempo de visita asociado al nodo de procedencia más el tiempo de viaje entre estos.

$$TV_j^k \geq TV_i^k + TCONT + t_{i,j} - (M \cdot (1 - X_{i,j}^k)) \quad \forall j \in N, \forall i \in N, \forall k \in K$$

Función Objetivo

Minimizar el costo de desplazamiento de la flota.

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{i,j}^k \cdot X_{i,j}^k$$

Pre procesamiento

Con el fin reducir el tiempo de procesamiento, se implementaron las siguientes restricciones sobre las variables de decisión.

Un móvil nunca viaja hacia el punto de origen de un móvil.

$$X_{i,j}^k = 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in P, \forall k \in K$$

Un móvil nunca se desplaza entre puntos de destino.

$$X_{i,j}^k = 0 \quad \forall i \in D, \forall j \in D, \forall k \in K$$

Un móvil nunca se desplaza directamente entre su punto de partida y un destino.

$$X_{i,j}^k = 0 \quad \forall i \in P, \forall j \in D, \forall k \in K$$

Un móvil nunca se desplaza desde el destino asociado a una carrera y el origen de esta.

$$X_{i,j}^k = 0 \quad \forall i \in D, \forall j \in O, \forall k \in K$$

Solo el destino asociado de una carrera es una opción de desplazamiento desde el origen de esta.

$$X_{i,j}^k = 0 \quad \forall i \in O, \forall j \in D \mid j \neq (i + nc), \forall k \in K$$

Un móvil nunca se desplaza desde un nodo hacia a el mismo nodo.

$$X_{i,j}^k = 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in N \mid i = j, \forall k \in K$$

Únicamente el vehículo k puede salir de su punto de partida.

$$X_{i,j}^k = 0 \quad \forall i \in P, \forall j \in N, \forall k \in K \mid i \neq k$$

4.3 Operación conjunta

A pesar que en todo momento se ha descrito y analizado cada módulo de asignación por separado, estos fueron diseñados para poder operar de manera conjunta en caso que así se desee. El único requisito para lograr esto, es que cada vez que se ejecute el modelo estático; se remuevan las carreras asignadas de las estructuras de memoria del módulo de asignación dinámico.

En este caso de estudio, solo serán analizados la operación y rendimiento de cada módulo por separado; con el fin de eliminar factores de incertidumbre al comparar los resultados asociados a estos mecanismos de asignación con respecto a los implementados en la práctica por One Radio Taxi.

4.4 Elección de tecnologías

A continuación se especifican las tecnologías necesarias para la correcta implementación y funcionamiento del rediseño planteado.

Software de apoyo operacional

La solución propuesta debe utilizar variada información operacional asociada al funcionamiento de la flota de radio taxis de los clientes de Fantáxico. Debido a lo anterior, y considerando el beneficio en relación a la reducción de costos asociados al desarrollo del proyecto, se optó por utilizar los sistemas informáticos pre existente de Fantáxico. A causa de lo anterior, se habilitaron funcionalidades especiales en los sistemas SmartTaxi y Fantáxico para que cada módulo pueda extraer e insertar información dentro de cada herramienta.

Elección de red

Dada la arquitectura propuesta, se optó por usar la red Internet para la transmisión de datos. De esta forma se entrega un mayor grado de libertad respecto al alojamiento e interacción de los servidores que implementan tanto los módulos de asignación automática como los sistemas de apoyo operacional. Se estableció que una conexión con un ancho de banda mínimo de 1 Megabits por segundo garantiza el correcto funcionamiento de la arquitectura propuesta. Lo anterior se estableció en base a los requerimientos asociados a la interacción con los sistemas de apoyo anexos a este sistema.

Software de optimización

Se eligió utilizar el General Algebraic Modeling System (GAMS) como sistema de optimización dentro del módulo estático de asignación automática. Esto se debió a que dicho software ofrece un lenguaje consistente y un compilador estable que entrega la opción de utilizar diversos “solvers”¹³ de alto rendimiento. Entre otros factores

¹³ Entiéndase como pieza de software que resuelve un problema matemático determinado.

considerados estuvo el costo de su licencia y la posibilidad de contar con una licencia de prueba para el desarrollo de del prototipo mínimo funcional.

Servicio de georreferencia

Como fue mencionado en la sección anterior, tanto el módulo de asignación dinámico como el estático deben utilizar algún mecanismo que les permita medir la distancia entre dos puntos geográficos. Por ende, se definió el servicio de georreferencia ofrecido por Google como la mejor alternativa para satisfacer esta necesidad. Sin embargo, dada la naturaleza académica e investigativa asociada a este proyecto, para la primera etapa de la implementación se optó por trabajar en base a un mecanismo propio de cálculo de distancia entre puntos georreferenciados; el que no considera el desplazamiento a través de calles sino que de forma lineal entre los puntos. Lo anterior se debe a que los costos asociados a este tipo de servicio pagado superan a los recursos asignados para este proyecto por Fantáxico; y fue una de las limitaciones asociadas a este trabajo.

Software de desarrollo

Dadas las características de las diferentes funcionalidades que deben llevar a cabo ambos módulos de asignación se optó utilizar la plataforma Node.js como framework de desarrollo. Dentro de las mayores ventajas de Node.js se encuentra su naturaleza asíncrona y basada en eventos, lo que lo transforma en una opción ideal para desarrollar una aplicación como el módulo de asignación dinámica; ya que fácilmente se pueden manejar múltiples asignaciones de forma concurrente. Además de lo ya mencionado, esta herramienta es de código abierto por lo que la utilización de este software por sobre uno pagado reduce el costo asociado al desarrollo del proyecto. Por último se consideró el hecho que Fantáxico ya ha desarrollado otros softwares utilizando este framework por lo que el utilizar dicha alternativa reduce los posteriores costos de mantención.

Software de base de datos

Con el objetivo de llevar registro a nivel local se utilizó el sistema de gestión de datos MySQL. Se optó por esta herramienta debido a su estabilidad, robustez, el nulo costo asociado a licencias de uso y debido a que es una herramienta ya utilizada previamente en desarrollo realizados por Fantáxico; lo que reduce los costos futuros de mantención. Los módulos de asignación diseñados utilizan información almacenada en los sistemas SmartTaxi y Fantáxico. Debido a lo anterior, de manera indirecta se optó por trabajar con bases de datos MySQL y Azure NoSQL, las que no presentan ningún tipo de inconveniente para la implementación del rediseño asociado al proyecto.

Hardware

Debido a la naturaleza intensiva en el uso de procesador y memoria del mecanismo de optimización estático los requisitos mínimos de hardware para garantizar el correcto funcionamiento del sistema son:

- Procesador de 64 bits (x64) de 3.4 GHz o superior.
- Memoria RAM de 8 gigabyte (GB) o superior.
- Conexión a internet con un ancho de banda de 1 Megabits por segundo o superior.

Lo anterior fue establecido en base a tras una fase de prueba de los módulos desarrollados.

4.5 Beneficios del rediseño

Luego de considerar los diferentes aspectos potencialmente mejorables asociados al mecanismo de asignación de One Radio Taxi, previos a la realización de este proyecto; se optó por enfocar el rediseño con el fin de reducir la distancia diaria recorrida por la flota de la empresa.

Al alcanzar este objetivo, aparte de observar una disminución en la distancia que recorre al día la flota; el rediseño podría repercutir positivamente en varios de los factores mejorables especificados en el capítulo anterior. En primer lugar, al implementar un sistema automatizado de asignación, instantáneamente causaría una mejora en la homogeneidad del mecanismo de asignación de carreras; ya que cada asignación sería realizada bajo un criterio uniforme. Así también se haría absolutamente necesario estandarizar la calidad de los datos de entrada al sistema, para que este pudiese operar correctamente, lo que necesariamente aumentaría la calidad de los datos almacenados por los sistemas informáticos utilizados por la empresa. Finalmente, al reducirse la cantidad de kilómetros recorridos diariamente por la flota para atender a un mismo número de carreras, conllevaría un aumento en la capacidad operativa de esta. Debido a lo anterior, en caso de existir demanda no satisfecha debido a limitaciones asociadas a la capacidad de la flota, se generaría una oportunidad significativa de aumentar el número diario de traslados realizados por One Radio Taxi; lo que a su vez causaría un aumento en la cantidad promedio de carreras atendidas al día por cada vehículo de la flota.

4.6 Sistema de asignación post rediseño

A continuación se presentan los diagramas de componentes asociados a cada sistema de asignación automática. En estos diagramas se presenta la estructura resultante del sistema de asignación posterior a la implementación de cada módulo de asignación. Asimismo, en las siguientes figuras se muestran claramente los módulos de apoyo desarrollados durante este proyecto, además de ilustrar la interacción entre los diferentes componentes de cada sistema.

Sistema de asignación dinámico

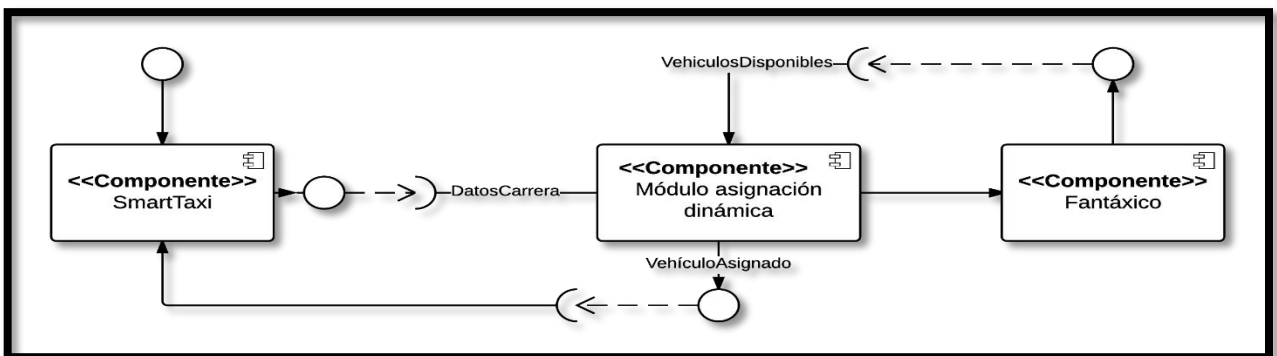


Figura 28: Diagrama de componentes del sistema de asignación dinámico.

(Fuente: Elaboración propia).

Sistema de asignación estático

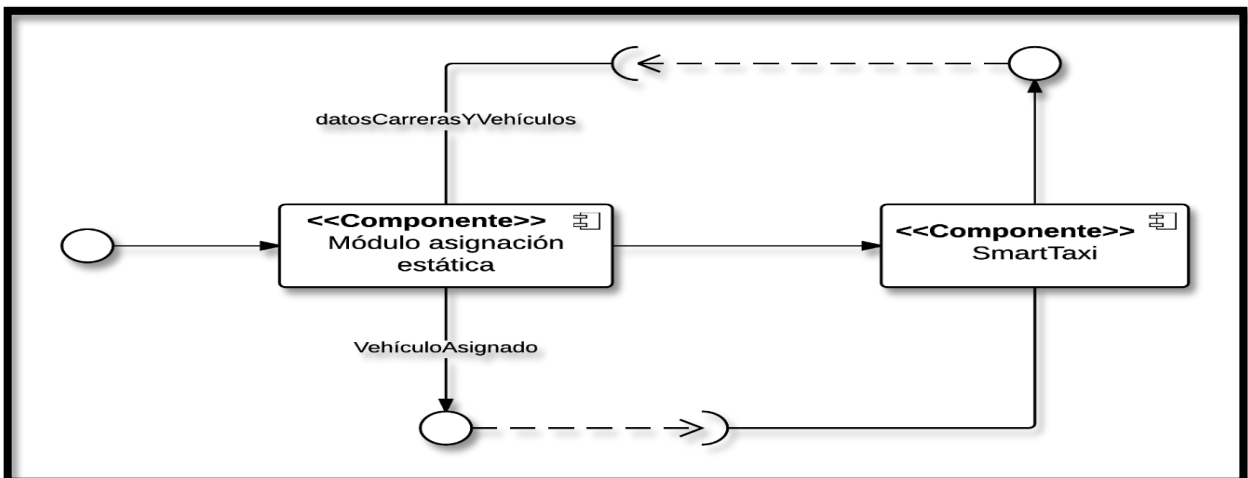


Figura 29: Diagrama de componentes del sistema de asignación estático.

(Fuente: Elaboración propia).

5. Análisis y diseño de software

En este capítulo se presentarán diferentes aspectos considerados durante el proceso de diseño e implementación pertinentes al software de apoyo asociado al rediseño realizado en este trabajo. Se concluirá el capítulo definiendo los aspectos más relevantes de al proceso de simulación efectuado en relación a cada módulo desarrollado.

5.1 Análisis de requerimientos funcionales

A continuación se presentan los diferentes aspectos considerados dentro del levantamiento de requisitos asociado al diseño del software construido.

5.1.1 Especificación del software

Objetivos del software

El objetivo asociado de los módulos de asignación dinámica y estática, es implementar un mecanismo que permita realizar la asignación de cada solicitud de traslado de pasajeros, a algún vehículo disponible dentro de la flota de la empresa; de forma efectiva y siguiendo el modelo de rediseño especificado en el capítulo anterior.

En el caso en particular del módulo de asignación dinámica, este deberá correr continuamente en un servidor, permitiéndole realizar todas las asignaciones que sean requeridas en la operación de una flota de radio taxis. Este módulo fue diseñado con el objetivo de disminuir la distancia total recorrida al día por la flota de la empresa One Radio Taxis; en comparación al mecanismo de asignación manual en torno a bases que implementa la compañía.

Por otra parte, el módulo de asignación estática tiene como objetivo realizar el proceso de pre asignación de carreras que One Radio Taxis lleva a cabo cada tarde, para carreras a realizarse durante la madrugada siguiente. La idea central de este módulo es construir un software capaz de utilizar el tiempo disponible previo a la realización del conjunto de carreras, para así poder computar un ruteo más eficiente en relación a la distancia total recorrida.

Por último cabe mencionar que ambos módulos a desarrollar deberán integrarse con los sistemas de informáticos, SmartTaxi y Fantáxico, utilizados por la empresa One Radio Taxis.

Determinación de la salida deseada

En el caso de ambos módulos, la salida deseada consiste en un conjunto de registros que permitan relacionar el identificador asociado a una solicitud de traslado con el identificador de un radio taxi dentro del sistema SmartTaxi. Es debido a lo anterior que necesariamente ambos softwares deberán ser capaces de integrarse e interactuar con el programa SmartTaxi.

Determinación de los datos de entrada

El módulo de asignación dinámica utilizará como entrada, tanto información relativa a la carrera que se desea asignar, como las ubicaciones en tiempo real de los móviles disponibles de la flota de radio taxis. La primera entrada será obtenida a través de una conexión con la plataforma SmartTaxi, mientras que la segunda entrada podrá ser recolectada a través de la utilización de una API asociada a la plataforma Fantáxico.

En relación al módulo de asignación estática, su entrada consistirá en un conjunto de carreras que se quieran pre asignar, además de los diferentes vehículos disponibles para una potencial asignación junto a sus coordenadas de partida. En este caso, toda la información de entrada requerida para la operación de este módulo está almacenada dentro de la base de datos perteneciente a SmartTaxi.

5.1.2 Actores involucrados

Los actores que interactuarán en la operación de cada módulo son:

- SmartTaxi: Sistema de gestión operacional para flotas de radio taxis.
- Fantáxico: Plataforma web que permite realizar seguimiento a los vehículos de radio taxi a través de teléfonos celulares con GPS.
- Crontab: Software que se auto ejecuta a ciertas horas específicas y se encarga únicamente de mandar a ejecutar el módulo de asignación estático.

5.1.3 Diagramas de casos de uso

Módulo de asignación dinámico

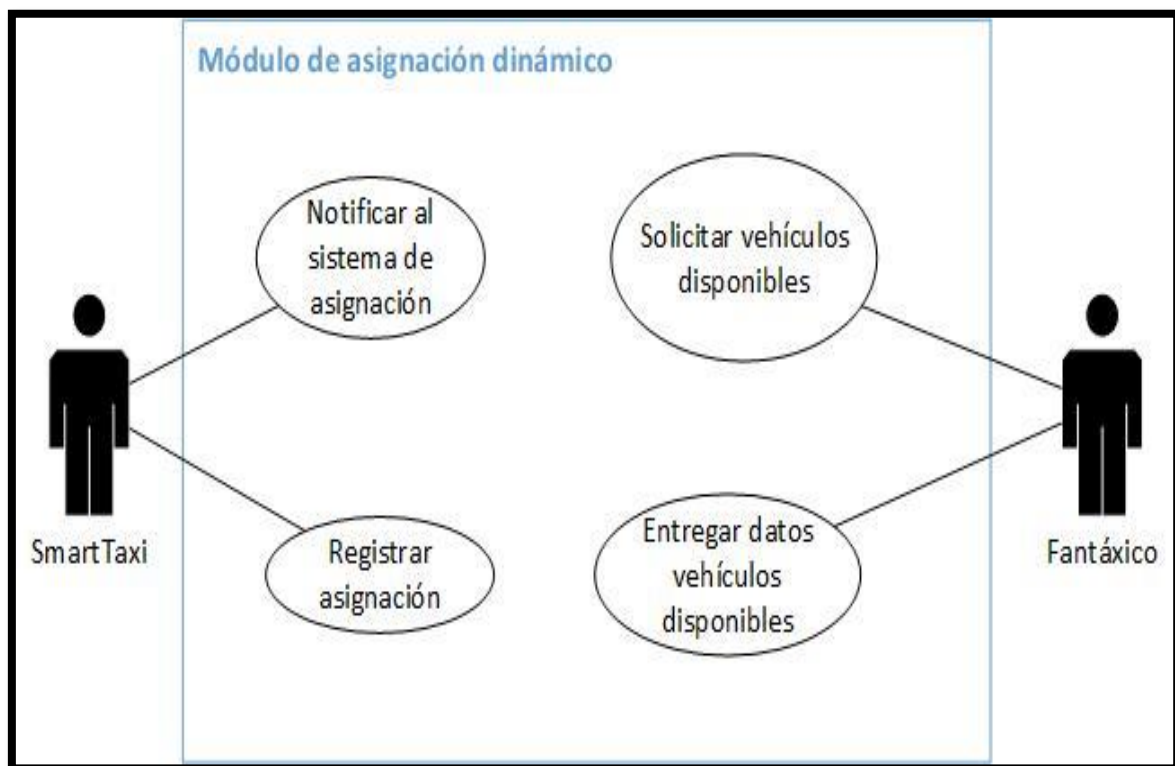


Figura 30: Diagrama de casos de uso del módulo de asignación dinámico.

(Fuente: Elaboración propia).

Módulo de asignación estático



Figura 31: Diagrama de casos de uso del módulo de asignación estático.

(Fuente: Elaboración propia).

5.1.4 Casos de uso

A continuación se especificaran los casos de uso de alto nivel más significativos para el modelo dinámico de asignación y el modelo estático.

Sistema de asignación dinámico

Caso de Uso	Notificar al sistema de asignación.
Código	UC-AD 1
Actores	SmartTaxi
Propósito	Notificar al módulo de asignación dinámico el ingreso de una nueva solicitud de traslado que debe ser asignada por el sistema.
Tipo	Secundario.
Descripción	SmartTaxi realiza una solicitud http post que notifica al módulo de asignación dinámica que una nueva solicitud ha ingresado al sistema, entregándole: el id de esta, la hora de recogida y las coordenadas de recogida. Esta acción desencadena la ejecución de las distintas funciones del módulo de asignación dinámico. En particular el módulo de asignación calcula el tamaño de la ventana de pre asignación y luego registra la información de la carrera. En caso que la carrera deba ser asignada

	inmediatamente se busca y asigna el vehículo más cercano. En caso de no ser así, se ingresa la solicitud a un ciclo de revisión periódica respecto a la hora y fecha de asignación de la carrera.
--	---

Tabla 7: Caso de uso UC-AD 1.

(Fuente: Elaboración propia).

Caso de Uso	Solicitar vehículos disponibles.
Código	UC-AD 2
Actores	Fantáxico
Propósito	Obtener los vehículos disponibles de la flota de radio taxis.
Tipo	Secundario.
Descripción	El módulo de asignación dinámico ejecuta un llamado http post a la API del sistema Fantáxico y obtiene el conjunto de móviles disponibles además de sus ubicaciones georreferenciadas.

Tabla 8: Caso de uso UC-AD 2.

(Fuente: Elaboración propia).

Caso de Uso	Entregar datos vehículos disponibles.
Código	UC-AD 3
Actores	Fantáxico
Propósito	Proveer al módulo de asignación de los datos asociados a los vehículos actualmente disponibles para ser asignados.
Tipo	Primario.
Descripción	El sistema Fantáxico se comunica a través de un llamado http con el módulo de asignación automática entregándole los datos asociados a los móviles actualmente disponibles en la flota.

Tabla 9: Caso de uso UC-AD 3.

(Fuente: Elaboración propia).

Caso de Uso	Registrar asignación.
Código	UC-AD 4
Actores	SmartTaxi
Propósito	Ingresar el registro de asignación dentro del sistema SmartTaxi.
Tipo	Primario.

Descripción	El módulo de asignación dinámico realiza el ingreso del registro asociado a la asignación efectuada dentro de una tabla transitoria de la base de datos de SmartTaxi.
--------------------	---

Tabla 10: Caso de uso UC-AD 4.

(Fuente: Elaboración propia).

Sistema de asignación estático

Caso de Uso	Iniciar asignación.
Código	UC-AE 1
Actores	Crontab
Propósito	Ejecutar el módulo de asignación estático.
Tipo	Primario.
Descripción	El crontab inicia la ejecución del módulo de asignación estático durante los horarios definidos en el diseño del sistema. Esta acción desencadena la ejecución de las distintas funciones del módulo de asignación estático. En particular el módulo de asignación construye el modelo GAMS y los archivos de entrada que este usa, luego ejecuta el modelo y analiza el archivo de salida generado tras la ejecución.

Tabla 11: Caso de uso UC-AE 1.

(Fuente: Elaboración propia).

Caso de Uso	Solicitar datos de carreras por asignar y vehículos disponibles.
Código	UC-AE 2
Actores	SmartTaxi
Propósito	Obtener las carreras que el modulo deberá asignar junto con los móviles disponibles para potencialmente ser asignados.
Tipo	Primario.
Descripción	El módulo de asignación estático deberá obtener los datos asociados a las carreras que deben ser asignadas, además de los vehículos que potencialmente pueden ser utilizados, accediendo a una tabla transitoria dentro de la base de datos del sistema SmartTaxi.

Tabla 12: Caso de uso UC-AE 2.

(Fuente: Elaboración propia).

Caso de Uso	Registrar asignación de carreras.
Código	UC-AE 3
Actores	SmartTaxi
Propósito	Ingresar las diversas asignaciones obtenidas en SmartTaxi.
Tipo	Primario.
Descripción	El módulo de asignación deberá ingresar a una tabla transitoria dentro de la base de datos del sistema SmartTaxi las diferentes asignaciones obtenidas de la ejecución del modelo GAMS.

Tabla 13: Caso de uso UC-AE 3.

(Fuente: Elaboración propia).

5.2 Diseño del software

Con el objetivo de describir la estructura y funcionamiento del software desarrollado en relación a los módulos de asignación dinámica y estática, se presentarán diagramas en base al lenguaje de modelamiento unificado versión 2.0 (UML 2.0).

5.2.1 Diagramas de secuencia

A continuación se presentan diagramas de secuencia para cada módulo desarrollado con el fin de especificar las interacciones entre los diferentes actores de cada sistema, además de las funcionalidades de mayor relevancia.

Módulo de asignación dinámica

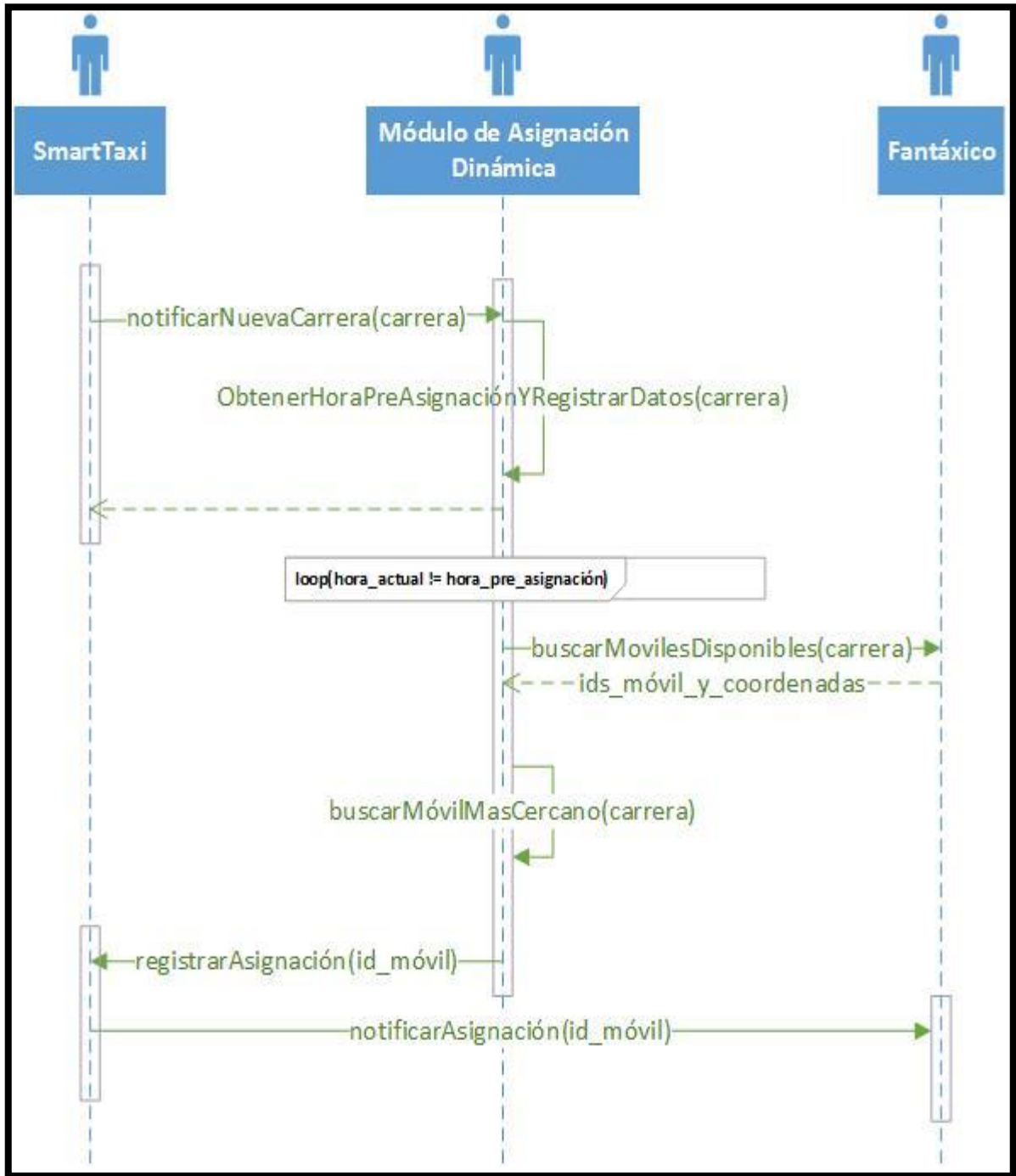


Figura 32: Diagrama de secuencia de sistema de asignación dinámica.

(Fuente: Elaboración propia).

Módulo de asignación estático

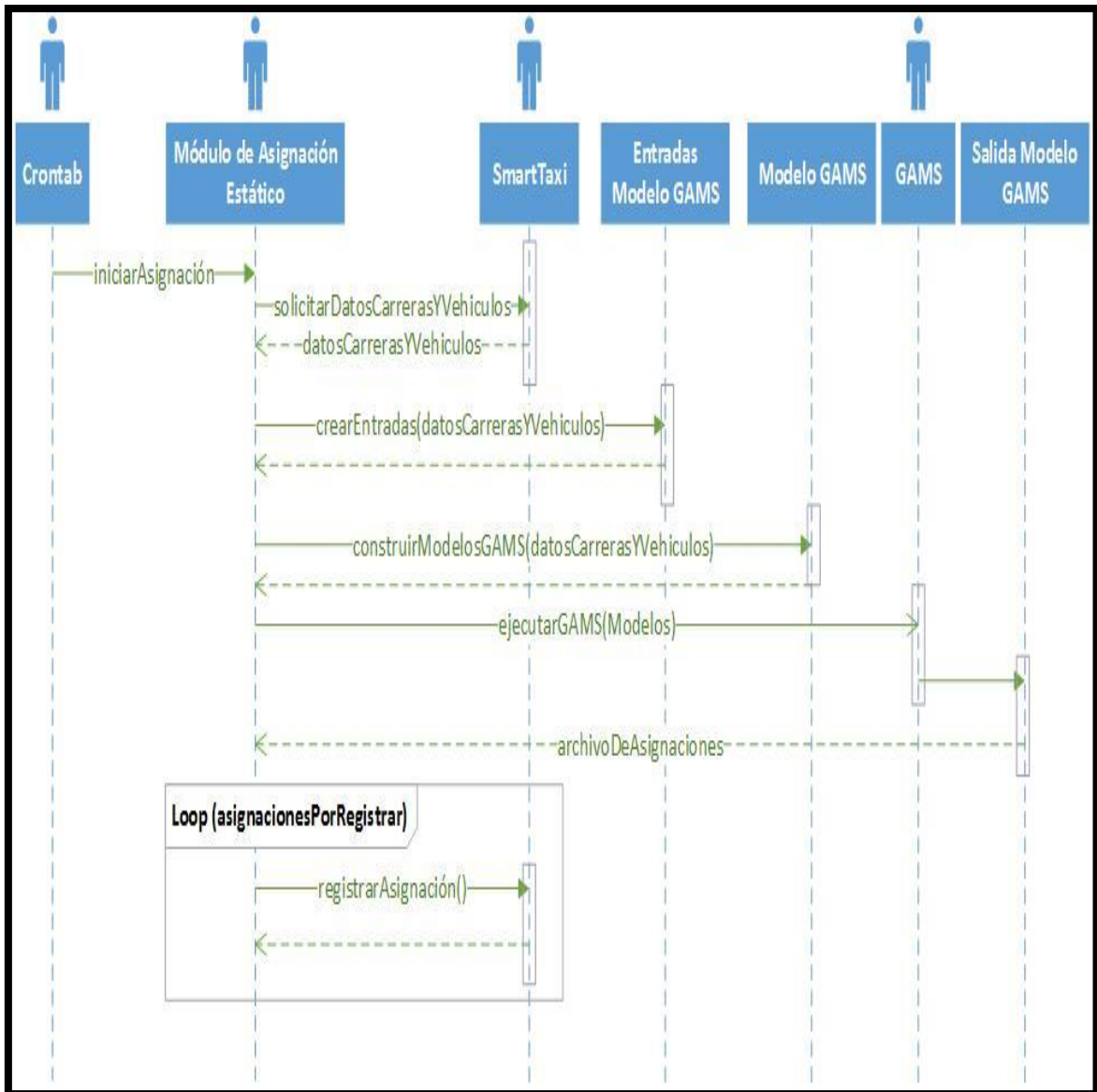


Figura 33: Diagrama de secuencia de sistema de asignación estático.

(Fuente: Elaboración propia).

5.2.2 Diagramas de actividades

A continuación se presentan diagramas de actividades asociados a cada módulo desarrollado, con el objetivo de especificar las diferentes acciones realizadas dentro de cada software.

Sistema de asignación dinámico

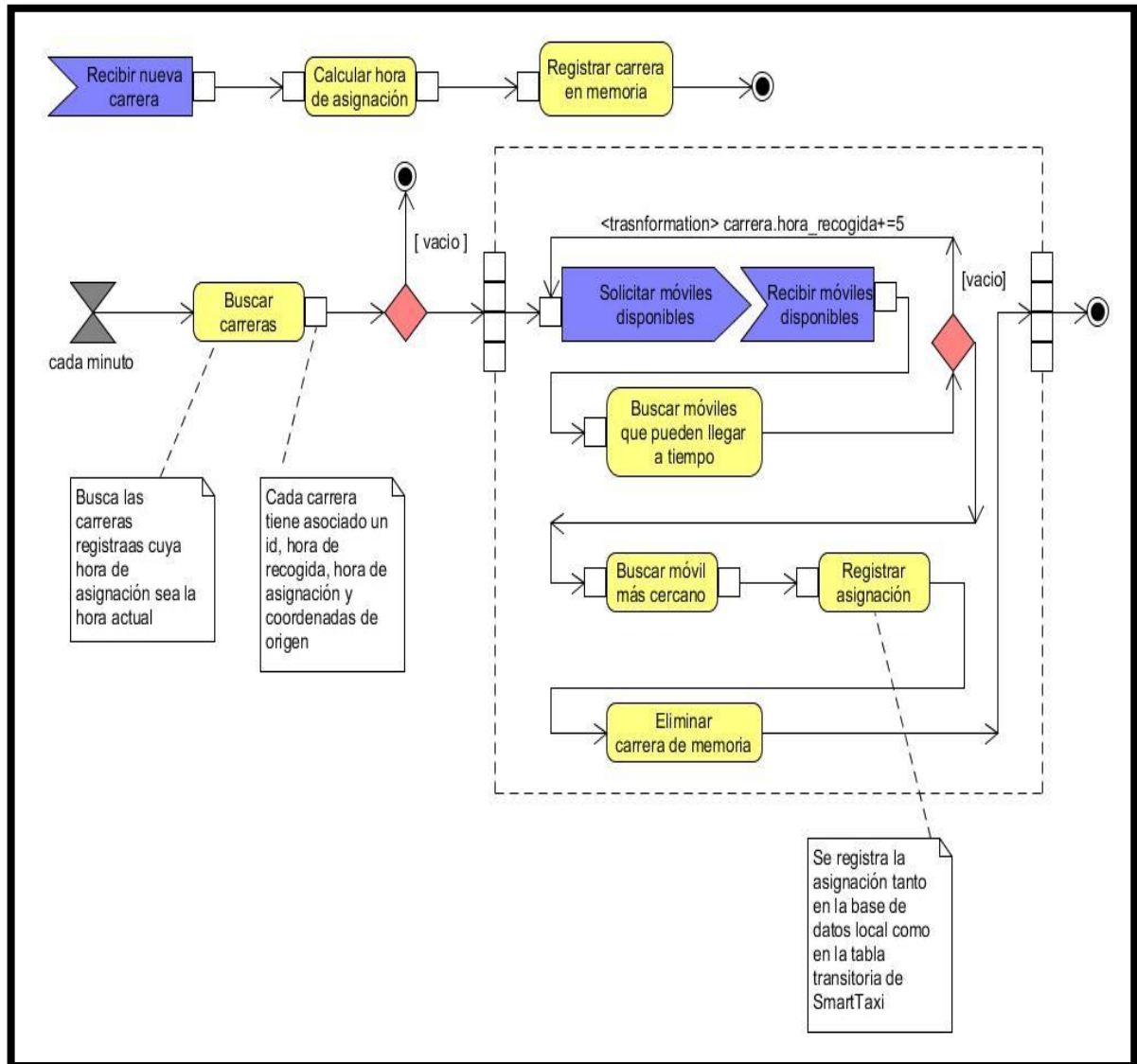


Figura 34: Diagrama de actividades módulo de asignación dinámica.

(Fuente: Elaboración propia).

Sistema de asignación estático

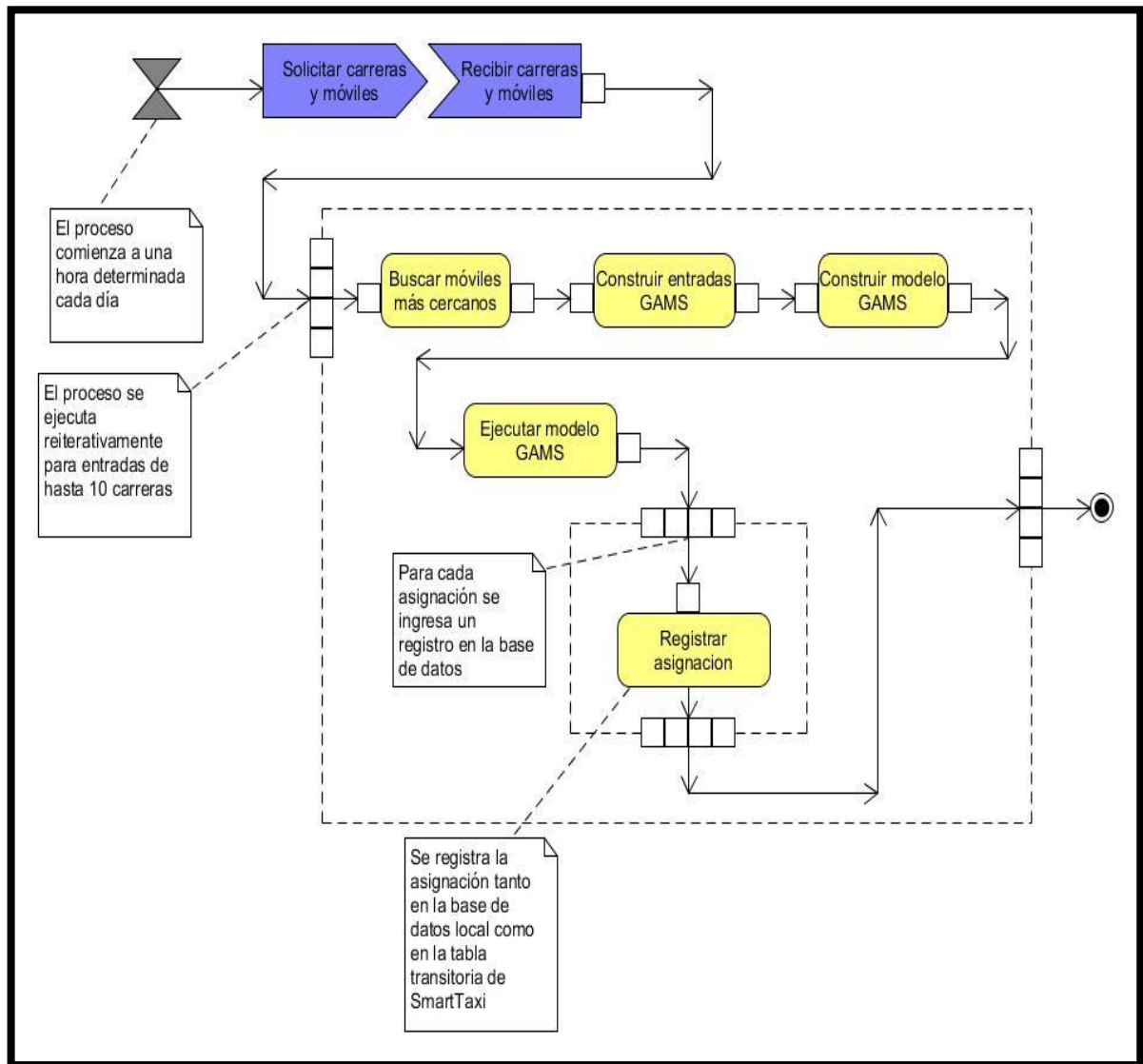


Figura 35: Diagrama de actividades módulo de asignación estático.

(Fuente: Elaboración propia).

5.3 Modelo de datos

Con el objetivo de describir el modelo de datos utilizado para almacenar los resultados del proceso de asignación relativo a cada módulo, se presentará un diagrama de relación de entidades de la base de datos utilizada.

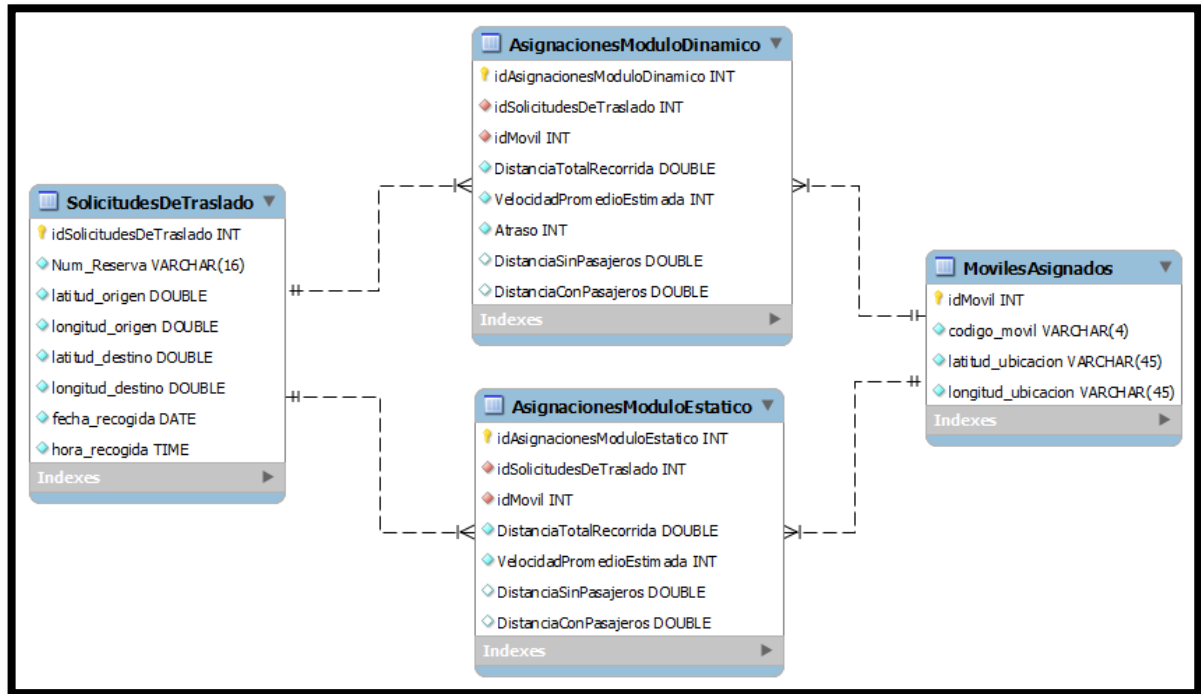


Figura 36: Diagrama de relación de entidades de la base de datos utilizada.

(Fuente: Elaboración propia).

5.4 Arquitectura del sistema

A continuación se presenta un diagrama de distribución que representa la arquitectura del sistema posterior a la integración de los módulos de asignación dinámica y estática.

Dada la naturaleza de uso intensivo de procesador y memoria asociada al módulo de asignación estático, se recomienda instalar ambos módulos en un servidor virtual o físico (que cumpla las especificaciones de hardware especificadas en el capítulo anterior) diferente al que aloja los diferentes servicios de Fantáxico; para en ningún caso llegar a comprometer la operación de este sistema. Dado los componentes utilizados en la construcción del sistema de asignación, se puede utilizar cualquier sistema operativo en el servidor que aloja al sistema; ya que cada componente tiene soporte para sistemas

Windows, UNIX y Mac. Lo anterior fue concebido con la intención de reducir los costos asociados al paso a producción del sistema.

Cabe destacar que el servidor etiquetado como “módulos de asignación” en el siguiente diagrama, alojará ambos módulos de asignación desarrollados durante este trabajo.

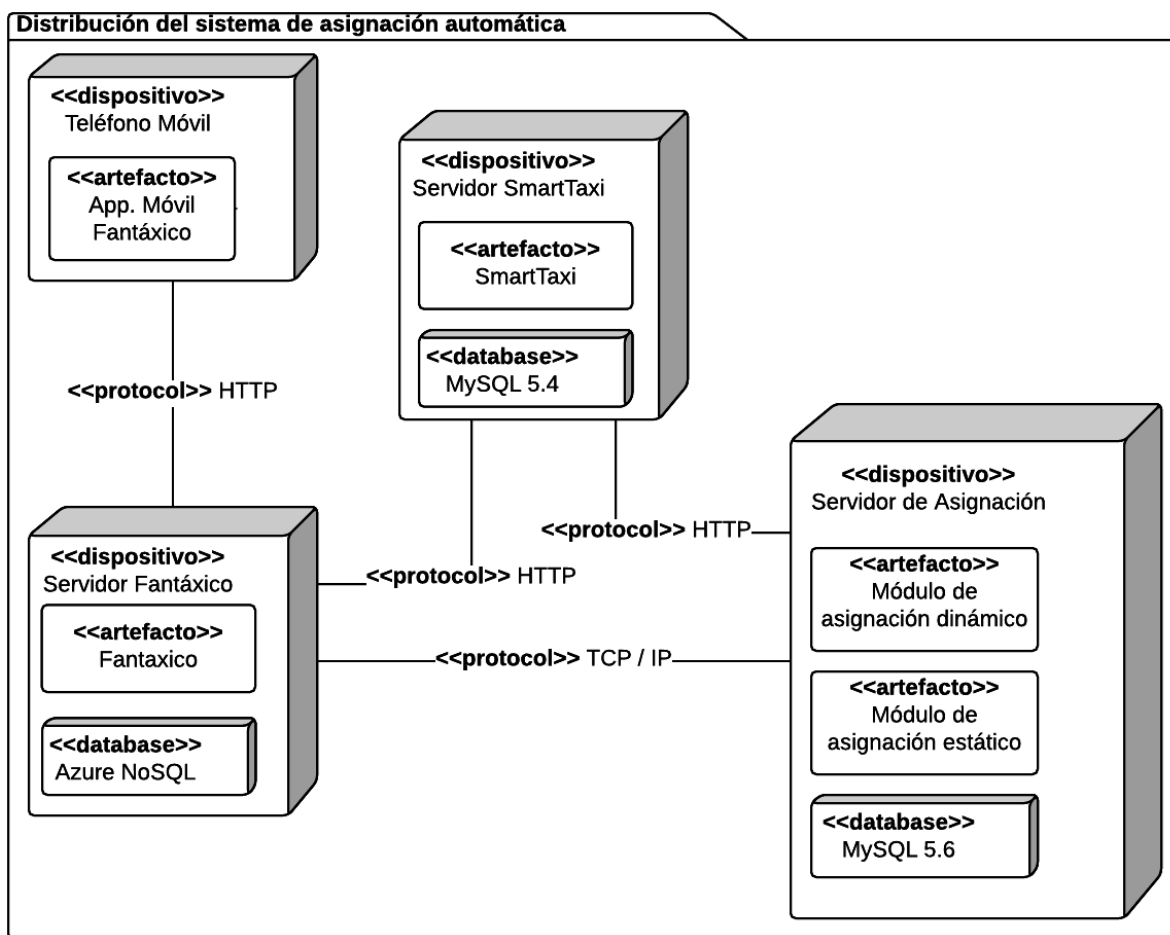


Figura 37: Diagrama de distribución del sistema posterior a la integración de los módulos de asignación dinámica y estática.

(Fuente: Elaboración propia).

5.5 Simulación

Con la finalidad de analizar la efectividad de los mecanismos de asignación desarrollados, se llevó a cabo un proceso de simulación para cada módulo construido. Cada simulación fue ejecutada por separado, con el objetivo de evaluar de manera aislada los efectos de implementar cada mecanismo de asignación.

5.5.1 Simulación asignación dinámica

Debido a la naturaleza del mecanismo de asignación, este no pudo ser probado en un escenario completamente análogo a la realidad; pues, para poder hacer esto se hubiese tenido que poner en producción el módulo, lo que escapa al alcance de este proyecto. Con el objetivo de generar un escenario lo más cercano a la realidad, se optó por asignar todas las solicitudes de traslado para un lapso de 24 horas y repetir este experimento para veinte fechas diferentes. Cabe mencionar, que se trabajó en base a información operativa real de la empresa One Radio Taxi, sin embargo, debido a que los datos corresponden a solicitudes efectivamente atendidas por la empresa; se entiende que la cantidad de recorridos registrado está por debajo de la capacidad máxima de la flota.

Software construido para la simulación

En este caso en particular se debió desarrollar software para llevar a cabo la simulación. A continuación se presenta un diagrama de actividades del software construido.

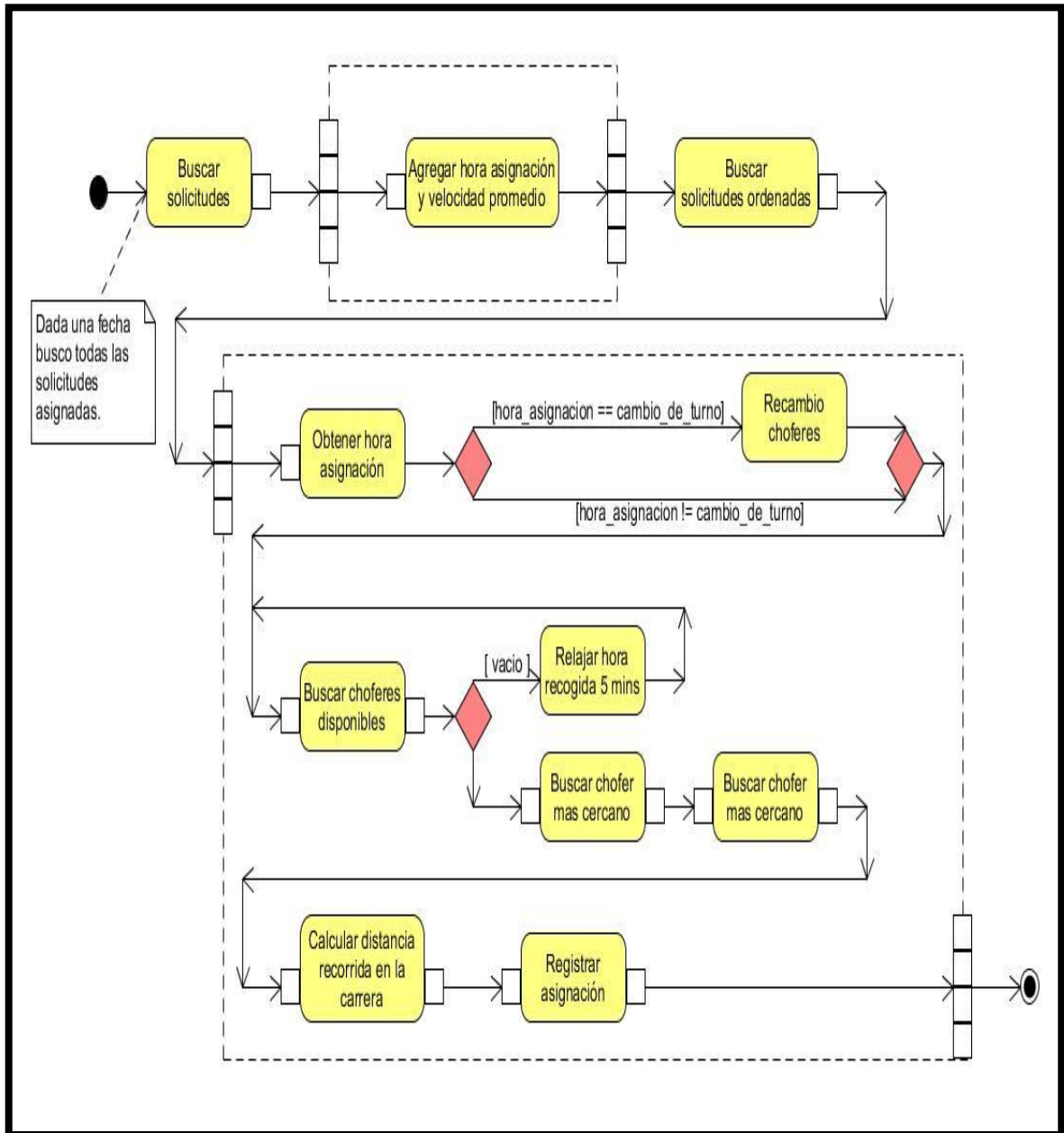


Figura 38: Diagrama de actividades del Software construido.

(Fuente: Elaboración propia).

A continuación se presenta un diagrama de relación de entidades para describir la estructura de la base de datos utilizada en este proceso.

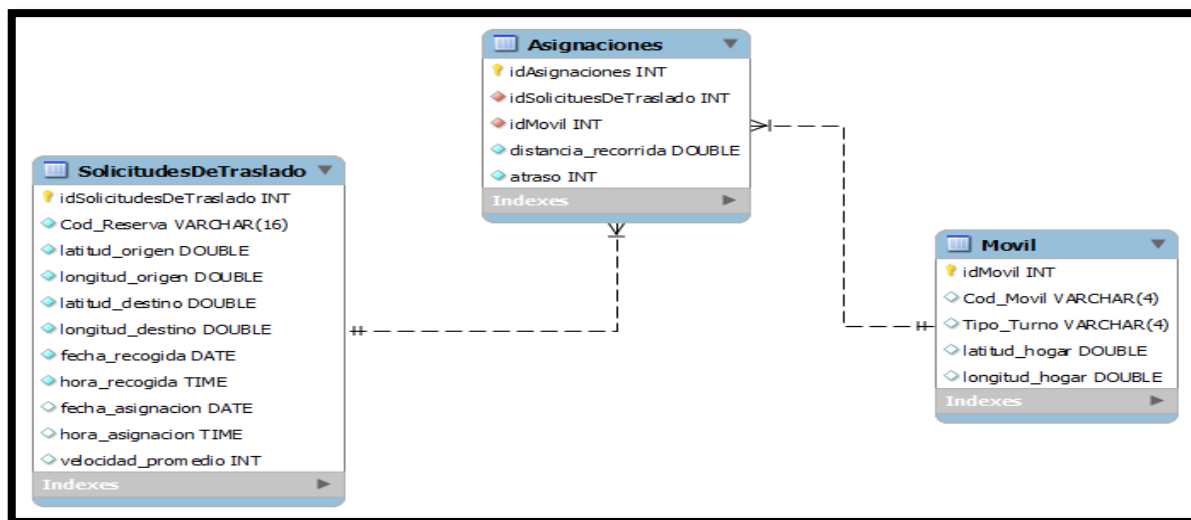


Figura 39: Diagrama de relación de entidades módulo simulación asignación dinámica.

(Fuente: Elaboración propia).

Supuestos significativos

1. El proceso de simulación en el caso del módulo dinámico se llevó a cabo utilizando data asociada a cada día hábil de las semanas 2, 3, 4 y 5 del mes de enero del año 2015. Cualquier conclusión extrapolable al resto de los meses del año considera que enero no presenta variaciones sobre la proporción entre la cantidad de vehículos disponibles en la flota y la cantidad de solicitudes de traslado recibidas.
2. Dado las limitaciones de presupuesto asociadas a la realización de este proyecto las distancias entre dos puntos georreferenciados se calcularon trazando una recta entre ellos sin considerar calles y su sentido. No obstante lo anterior, debido a que al construir el indicador contra el que se comparó el resultado de la simulación fue utilizando el mismo supuesto; la comparación entre ambos sigue siendo significativa en términos relativos.
3. Los diferentes parámetros utilizados dentro del módulo de simulación fueron obtenidos con datos operativos relativos a la flota de One Radio Taxi para el periodo de tiempo especificado anteriormente. Entre los parámetros considerados

se encuentran: horarios de alta demanda de carreras y horarios de congestión vehicular.

5.5.2 Simulación asignación estático

En el caso del módulo de asignación estático, el mecanismo de simulación pudo llevarse a cabo de manera mucho más directa utilizando el mismo software construido. A continuación se especifican los supuestos asociados al proceso de simulación de este módulo.

Supuestos significativos

1. El proceso de simulación en el caso del módulo estático se llevó a cabo utilizando datos relativos a las fechas: 13 de enero, 26, 27, 28, 29 y 30 de enero; además de los días 1, 3 y 4 de febrero del año 2015. En particular se eligió utilizar carreras con horas de recogidas entre las 7 y 9 horas, ya que este horario es el que presenta la mayor cantidad de carreras reservadas con más de 12 horas de antelación. La menor cantidad de data y dispersión de los días se deben principalmente a que, en este caso, el proceso de recolección de datos fue más complejo y dependió exclusivamente de terceros. Esto se debe a que la data asociada a las pre asignaciones realizadas dentro del sistema SmartTaxi, se eliminan una vez que cambia a categoría de asignación. Cualquier conclusión extrapolable al resto de los meses del año considera que las fechas utilizadas no presentan grandes variaciones sobre la proporción entre la cantidad de vehículos disponibles en la flota y la cantidad de solicitudes de traslado recibidas.
2. Con el objetivo de resolver el problema de programación mixta entera especificado en el capítulo anterior, se utilizó el mecanismo de minimización asociado al solver CPLEX 11.0 disponibles en GAMS.
3. Se mantienen para este caso también las consideraciones descritas en los puntos 2 y 3 de la sección de supuestos significativos asociada al proceso de simulación del módulo dinámico.

5.6 Construcción de indicadores

Con el objetivo de calcular la distancia recorrida por la flota de Astra Radio Taxi en relación al mecanismo original de asignación utilizado por la empresa, fue necesario construir un nuevo software. A continuación se presenta un diagrama de actividades asociado a la construcción de este y un diagrama de relación de entidades relativo a los datos facilitados por la empresa.

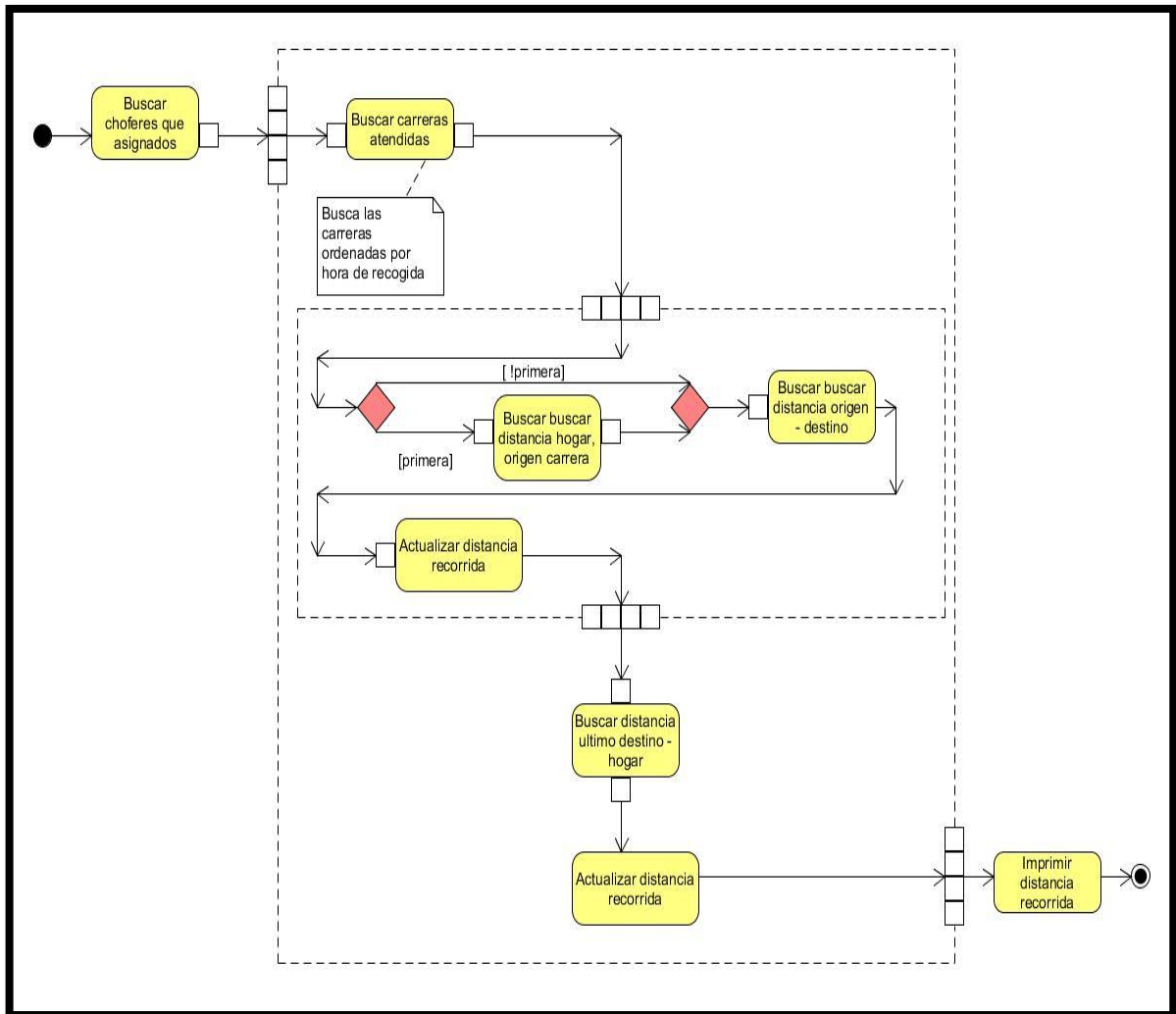


Figura 40: Diagrama de actividades asociado a la software que calcula la distancia recorrida por la flota de One Radio Taxi en base a su mecanismo de asignación.

(Fuente: Elaboración propia).

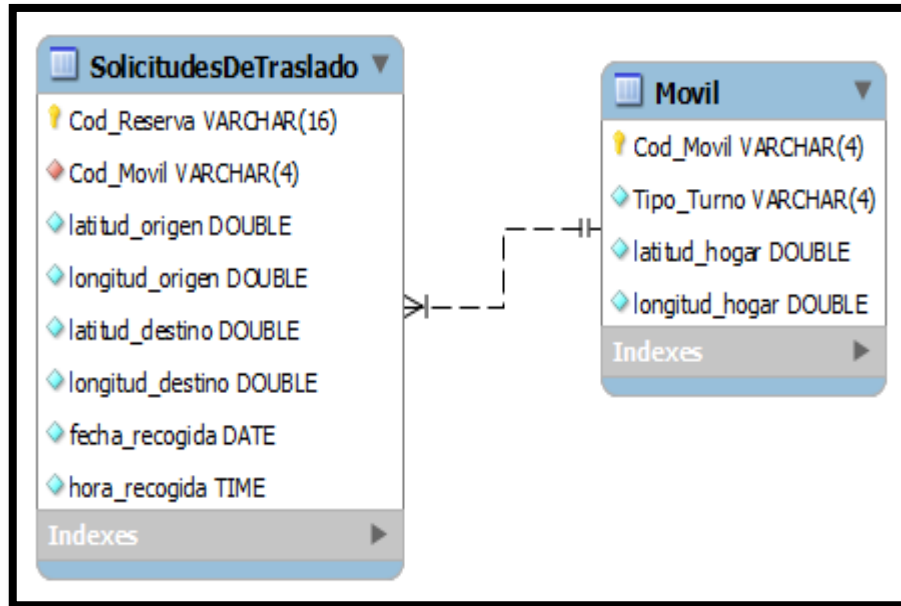


Figura 41: Diagrama de relación de entidades relativo a los datos facilitados por la empresa.

(Fuente: Elaboración propia).

En base a los datos facilitados, junto con el mecanismo desarrollado, se logró construir el indicador necesario para poder comparar la eficiencia relativa de cada mecanismo de asignación.

6. Resultados y Conclusiones

Durante este capítulo se expondrán los diferentes resultados obtenidos en relación al proceso de simulación llevado a cabo. De igual manera pero en relación a las conclusiones, se presentara un breve resumen del trabajo realizado, los objetivos alcanzados y una reflexión final del impacto del proyecto.

6.1 Análisis de resultados obtenidos

Módulo asignación dinámica

A continuación se presentan los resultados obtenidos tras la realización del proceso de simulación asociado al módulo de asignación dinámica.

Día	Fecha	N° Carreras	Distancia Recorrida (KMS)	N° Vehículos Utilizados
Lunes	05-01-2015	717	13.633	168
Martes	06-01-2015	926	18.541	179
Miércoles	07-01-2015	1.023	31.198	202
Jueves	08-01-2015	1.011	20.116	199
Viernes	09-01-2015	857	16.040	168
Lunes	12-01-2015	867	16.200	181
Martes	13-01-2015	954	16.964	184
Miércoles	14-01-2015	1.036	19.245	190
Jueves	15-01-2015	994	18.631	195
Viernes	16-01-2015	914	18.074	185
Lunes	19-01-2015	876	16.968	188
Martes	20-01-2015	957	17.268	188
Miércoles	21-01-2015	942	16.975	179
Jueves	22-01-2015	952	16.676	186
Viernes	23-01-2015	869	15.505	181
Lunes	26-01-2015	804	15.963	188
Martes	27-01-2015	966	18.268	197
Miércoles	28-01-2015	860	15.809	200
Jueves	29-01-2015	807	14.763	179
Viernes	30-01-2015	1.091	15.821	182

Tabla 14: Resultados obtenidos mediante simulación asociado al módulo de asignación dinámica.

(Fuente: Elaboración propia).

De la tabla anterior se desprende que en promedio, el mecanismo de asignación necesitó utilizar únicamente 186 móviles para atender un promedio de 921 carreras al día. Así mismo, la distancia promedio recorrida al día por la flota fue de 17.633 kilómetros. Se calculó la varianza de la distancia recorrida por cantidad de carreras atendidas fue de 9 kilómetros por carrera, lo que permite inferir un buen grado de consistencia asociado al método de asignación. Se observó también que la heurística de asignación no necesitó asignar carreras con retraso en la recogida del pasajero, por lo que se puede definir a este mecanismo de asignación uno como efectivo, dada la realidad operacional de One Radio Taxi.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos tras la construcción del indicador asociado a la distancia total recorrida por la flota de vehículos de la empresa One Radio Taxi.

Día	Fecha	N° Carreras	Distancia Recorrida (KMS)	N° Vehículos Utilizados
Lunes	05-01-2015	717	11.332	178
Martes	06-01-2015	926	14.776	184
Miércoles	07-01-2015	1.023	21.586	196
Jueves	08-01-2015	1.011	15.744	192
Viernes	09-01-2015	857	13.483	177
Lunes	12-01-2015	867	28.500	184
Martes	13-01-2015	954	29.632	197
Miércoles	14-01-2015	1.036	30.909	198
Jueves	15-01-2015	994	30.824	201
Viernes	16-01-2015	914	30.817	199
Lunes	19-01-2015	876	29.138	189
Martes	20-01-2015	957	29.706	200
Miércoles	21-01-2015	942	29.785	200
Jueves	22-01-2015	952	29.148	192
Viernes	23-01-2015	869	28.520	190
Lunes	26-01-2015	804	27.558	169
Martes	27-01-2015	966	29.835	191
Miércoles	28-01-2015	860	28.442	193
Jueves	29-01-2015	807	28.145	189
Viernes	30-01-2015	1.091	28.646	179

Tabla 15: Resultados asociados a la simulación del mecanismo de asignación usado por One Radio Taxi.

(Fuente: Elaboración propia).

Lo primero que llama la atención de los datos observados anteriormente es el alto grado de variabilidad en la distancia recorrida por la flota. Esto se ve reflejado en la

varianza asociada a la distancia recorrida por carrera, cuyo valor en este caso es de 47 kilómetros por carrera, un 422% por sobre la varianza observada en el caso anterior. Dicha cifra da cuenta del alto grado de variación que sufre en la práctica el método de asignación aplicado por One Radio Taxi, causado probablemente por las limitaciones asociadas al factor humano. De la tabla anterior, se puede desprender que la distancia diaria promedio recorrida por la flota en base al mecanismo de asignación actualmente utilizado por One Radio Taxi; fue de 25.826 kilómetros, un 46% por sobre la distancia promedio recorrida en base al módulo de asignación dinámica. De igual manera se observa que para cubrir la demanda de traslados la empresa utilizó diariamente en promedio 190 vehículos, 4 más que la cantidad utilizada por el módulo de asignación desarrollado. Debido a lo anterior, el promedio de carreras asignadas por móvil aumentó en un 2% y 4 vehículos en promedio quedaron libres para potencialmente atender carreras rechazadas por la empresa debido a sus limitaciones operacionales.

A continuación se presenta una tabla comparativa entre ambos mecanismos de asignación de carreras.

Fecha	Diferencia Distancia Recorrida (%)	Ahorro por carrera en Combustible (CLP)	Potencial Carreras Extra
05-01-2015	-20%	-195	-82
06-01-2015	-25%	-247	-134
07-01-2015	-45%	-572	-342
08-01-2015	-28%	-263	-156
09-01-2015	-19%	-182	-91
12-01-2015	43%	863	438
13-01-2015	43%	808	451
14-01-2015	38%	685	416
15-01-2015	40%	747	434
16-01-2015	41%	848	454
19-01-2015	42%	845	434
20-01-2015	42%	791	443
21-01-2015	43%	828	456
22-01-2015	43%	797	444
23-01-2015	46%	911	464
26-01-2015	42%	878	413
27-01-2015	39%	729	412
28-01-2015	44%	894	450
29-01-2015	48%	1.009	477
30-01-2015	45%	715	457

Tabla 16: Tabla comparativa entre en módulo de asignación dinámica y la distancia recorrida por la flota de móviles de One Radio Taxi.

(Fuente: Elaboración propia).

De lo anteriormente presentado se puede observar que existe una diferencia porcentual promedio del 25% entre ambos mecanismos de asignación, en favor del módulo de asignación dinámica construido. Esta diferencia en la distancia recorrida al día representa un potencial ahorro diario en combustible de 498.627¹⁴ CLP, lo que se traduce en un ahorro anual de 129.642.998 CLP solo considerando los cinco primeros días de la semana. Así mismo se calculó que, en promedio, la distancia recorrida por carrera dado el mecanismo de asignación actual de One Radio Taxi es de 28 kilómetros. En base a lo anterior, se puede estimar una cantidad potencial de carreras extras que pudiesen ser atendidas dado la disminución de la distancia recorrida por la flota; en base a lo que potencialmente la flota podría atender 292 carreras más al día. Este aumento en la capacidad de la flota, en caso de estar acompañado por un nivel de demanda no satisfecha equivalente, significaría un aumento potencial anual de 1.006.044.941¹⁵ CLP solo considerando días de lunes a viernes.

Por último se observó que el software que simuló el mecanismo de asignación dinámica tomó en promedio 0,117 segundos en asignar cada carrera. Si bien el simulador utilizado en este caso es un software diferente al implementado en el módulo de asignación dinámica, se construyó utilizando métodos análogos de procesamiento. Lo anterior permite inferir que el módulo de asignación dinámica implementado funcionará en rangos de tiempo similares a los observados durante la simulación y por ende sería capaz de operar sin problemas en relación a las necesidades de procesamiento de Astal Radio Taxi.

¹⁴ El cálculo se realizó en base al precio promedio de la bencina de 93 octanos del año 2014 cuyo valor fue de 852 CLP en la región metropolitana. Fuente: <http://www.cne.cl/estadisticas/energia/hidrocarburos>

¹⁵ Este cálculo se efectuó utilizando la tarifa promedio por carrera asociada a los datos del sistema SmartTaxi para el mes de enero del 2015.

Módulo asignación estática

A continuación se presentan los resultados obtenidos tras la realización del proceso de simulación asociado al módulo de asignación estática.

Día	Fecha	N° Carreras	Distancia Recorrida (KMS)	N° Vehículos Utilizados
Martes	ene-13	46	683	43
Lunes	ene-26	80	1.447	62
Martes	ene-27	75	1.285	60
Miércoles	ene-28	75	1.114	61
Jueves	ene-29	29	395	27
Viernes	ene-30	15	239	14
Domingo	feb-01	55	1.012	47
Martes	feb-03	81	1.470	63
Miércoles	feb-04	47	714	41

Tabla 17: Resultados del proceso de simulación asociado al módulo de asignación estática.

(Fuente: Elaboración propia).

De la tabla anterior es poco significativo lo que se puede observar sin comparar los resultados con los obtenidos a través del mecanismo de asignación manual utilizado por One Radio Taxi. Sin embargo, es interesante notar que la varianza en relación a la distancia recorrida por carrera es de 3 kilómetros por carrera. El valor anterior es significativamente menor en comparación al observado en la sección anterior, lo que da cuenta de un mecanismo de asignación de un grado considerable mayor en la homogeneidad de su asignación.

En la siguiente tabla se muestran los resultados asociados a la simulación del mecanismo de asignación utilizado por One Radio Taxi.

Día	Fecha	N° Carreras	Distancia Recorrida (KMS)	N° Vehículos Utilizados
Martes	ene-13	46	1.144	23
Lunes	ene-26	80	1.879	41
Martes	ene-27	75	1.754	35
Miércoles	ene-28	75	1.507	37
Jueves	ene-29	29	606	16
Viernes	ene-30	15	491	11
Domingo	feb-01	55	1.279	32
Martes	feb-03	81	1.620	38
Miércoles	feb-04	47	990	24

Tabla 18: Resultados asociados a la simulación del mecanismo de pre asignación usado por One Radio Taxi.

(Fuente: Elaboración propia).

Lo primero que se puede apreciar al analizar y comparar las dos tablas anteriores, es que el mecanismo de asignación estática implementado, arroja para cada fecha estudiada, rutas que cubren menores distancias. A lo anterior se suma el hecho de que el módulo construido usa consistentemente un mayor número de vehículos. Cabe destacar también el hecho que el método utilizado por One Radio Taxi para pre asignar las rutas de la mañana siguiente existe una varianza de 14 kilómetros por carrera, lo que si bien es considerablemente menor que en el caso anterior sigue siendo un 405% superior a la varianza asociada al módulo construido. Lo anterior cuantifica la gran diferencia en la consistencia asociada a cada mecanismo de asignación, siendo el sistema de asignación estática construido considerablemente más homogéneo en su forma de asignar.

Con el objetivo de cuantificar las diferencias observadas en relación a la distancia recorrida y la cantidad vehículos utilizados por cada mecanismo de asignación se presenta la siguiente tabla.

Fecha	Diferencia Distancia Recorrida (%)	Diferencia N° Móviles Utilizados	Ahorro por carrera en Combustible (CLP)
ene-13	40%	87%	610
ene-26	23%	51%	329
ene-27	27%	71%	381
ene-28	26%	65%	319
ene-29	35%	69%	443
ene-30	51%	27%	1.022
feb-01	21%	47%	295
feb-03	9%	66%	113
feb-04	28%	71%	357

Tabla 19: Comparación entre la distancia recorrida y el número de vehículos usados en el mecanismo de asignación estático empleados por One Radio taxi y el modelo propuesto.

(Fuente: Elaboración propia).

Por una parte, de la tabla elaborada anteriormente se puede observar que en promedio el módulo de asignación construido recorre 28% menos de distancia que el mecanismo utilizado por One Radio Taxi. En contraste esta manera de asignar utiliza en promedio un 62% más de los vehículos disponibles en la flota. Las dos observaciones mencionadas sugieren que el optimizador de rutas, utilizado en la construcción del módulo de asignación, es significativamente más eficiente en la utilización de los recursos de la flota. Lo anterior, se condice con la literatura estudiada acerca de las limitaciones de un operario humano frente a este tipo de problemas de alta complejidad. En promedio el algoritmo de asignación automática realizó una asignación tal que la flota en promedio recorrió 7 kilómetros menos por carrera asignada, lo que significa un ahorro promedio de 24.026 CLP diario en base a las carreras consideradas. Dado que al día se registran en promedio 397 carreras con ventanas entre la hora de reserva y la hora de recogida de más de 12 horas, que podrían ser pre asignadas con este sistema; este mecanismo ofrece un potencial ahorro anual en relación al consumo de combustible de 40.960.507 CLP. Debido a que este mecanismo está inserto dentro de un macro proceso de asignación, no se puede calcular directamente cuanta capacidad operativa agrega la reducción de la distancia recorrida por la flota sin poner en marcha el módulo construido; lo que escapa al alcance de este trabajo.

Gracias al diseño del módulo de asignación y los diferentes mecanismos de pre procesamientos asociados a la construcción del modelo GAMS, el tiempo de ejecución de este mecanismo dada la cantidad promedio de carreras de entrada fue de 12 segundos. La observación anterior se encuentra por debajo de lo esperado, pero dentro de los márgenes aceptables dado las condiciones de operación de la compañía One Radio Taxi.

6.2 Conclusiones y trabajo futuro

A lo largo de este trabajo se recorrió un amplio espectro de información, partiendo desde el análisis del rubro asociado al transporte de pasajeros, hasta la aplicación de soluciones tecnológicas dentro del negocio logístico. Se logró cabalmente identificar y comprender las diferentes adversidades a las que una empresa de radio taxis se enfrenta en su operación, siendo la asignación de carreras una de las de mayor significancia. En relación a lo anterior, se investigó cómo y qué tan eficientemente la compañía elegida como caso de estudio, se desenvuelve diariamente frente a esta problemática.

Considerando los diferentes factores asociados al negocio de One Radio Taxi, se estudiaron diversos enfoques relacionados a la asignación de rutas. Habiendo identificado diferentes indicadores que potencialmente ofrecían oportunidades de mejora respecto al proceso de asignación, se optó reducir la distancia total diaria recorrida por la flota, manteniendo constante la cantidad de carreras atendidas por esta. Una vez analizado el estado del arte que pertinente a esta problemática, se logró establecer un modelo de rediseño asociado al proceso de asignación de carreras, basado en el uso de heurísticas computacionales de asignación de rutas. Habiendo establecido el modelo, se definieron en base a notación UML, los diferentes requisitos asociados a los softwares de apoyo necesarios para su implementación, y el impacto esperado que su puesta en marcha causaría en el desempeño de la flota.

Realizado lo anterior, se logró desarrollar exitosamente los diferentes softwares necesarios tanto para la implementación del sistema en sí, como para estudiar su funcionamiento a través de un proceso de simulación. Posteriormente, se compararon los resultados obtenidos por cada mecanismo de asignación durante la etapa de simulación, en relación al indicador de rendimiento definido en la fase de diseño del proyecto.

Dentro de los mayores desafíos enfrentados durante el desarrollo de este trabajo estuvo la integración con sistemas pre existentes. Por una parte, se debieron utilizar grandes conjuntos de datos, que necesariamente fueron normalizados para estandarizar su calidad. Además de lo anterior, se necesitó realizar modificaciones a estos sistemas, para poder integrarse con un sistema automatizado de asignación de rutas, lo que se logró gracias al constante apoyo de la compañía Fantáxico. No obstante del gran reto que estas situaciones representaron en la realización del proyecto de memoria, fueron

paralelamente una gran fuente de aprendizaje en relación a cómo este tipo de factores impactan en el desarrollo de proyectos dentro del rubro tecnológico.

A pesar que todos los resultados de este proyecto fueron obtenidos mediante un riguroso proceso de simulación, se encuentran por definición sujetos a diferentes supuestos especificados en los capítulos anteriores de este trabajo. Entre los supuestos de mayor significancia destaca el cálculo lineal de distancias entre dos puntos geográficos. Si bien, este supuesto aún permite realizar una comparación significativa entre cada mecanismo de asignación, la medición de distancia, considerando desplazamiento a través de calles es, sin duda, la siguiente incorporación al sistema para profundizar acerca del impacto de los sistemas de asignación desarrollados. Dada las restricciones presupuestarias asociadas al desarrollo de este proyecto, la integración de servicios externos de mediciones georreferenciales se dejará propuesto para trabajos futuros.

Considerando lo anteriormente mencionado, se puede concluir que el objetivo general del trabajo de título fue alcanzado. Se logró mejorar el proceso de asignación de carreras mediante la utilización de sistemas de asignación computacionales, los que no sólo lograron reducir los costos operacionales de una flota de radio taxis, si no, además, permitieron entregar la oportunidad potencial de incrementar la cantidad diaria de solicitudes atendidas por esta. El alcance de los objetivos planteados no solo representa una contribución al estudio empírico de mecanismos de asignación de rutas; sino que también le permitirá a Fantáxico avanzar en el proceso de desarrollo y cuantificación de beneficios, asociados a este tipo de herramientas.

Bibliografía

1. Colin Shearer, 2000, "The CRISP-DM Model: The New Blueprint for DataMining", Journal of Data Warehousing, Vol. 5, N° 4, páginas 13-22.
2. XU Zhengchuan, YUAN Yufei, JIN Huiliang, LING Hong, 2005, "Investigating the Value of Location Information in Taxi Dispatching. Services: A case study of DaZhong Taxi".
3. Andrey Glaschenko, Anton Ivaschenko, George Rzevski, Petr Skibelev, 2009, "Multi-Agent Real Time Scheduling System for Taxi Companies".
4. Quan Lu, Maged Dessouky¹⁶, 2002, "An Extract Algorithm for the Multiple Vehicle Pickup and Delivery Problem".
5. M.W.P. Salvendy, "The General Pickup and Delivery Problem", Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30032-0205.
6. Ralph Kimball, Margy Ross, "The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling", segunda edición.
7. G. Myatt, 2007, "Making Sense of Data: A practical Guide to exploratory data analysis and data mining", Wiley Interscience.
8. Shih-Fen Cheng, Thi Duong Nguyen 2011, "TaxiSim: A Multiagent Simulation Platform for Evaluating Taxi Fleet Operations".
9. Maurizio Bielli, Alessandro Bielli y Riccardo Rossi, 2011, "Trends in Models and Algorithms for Fleet Management", Procedia Social and Behavioral Sciences, Vol. 20, Páginas 4–18.
10. Andersen J., Crainic T.G., Christiansen M., 2009, "Service network design with management and coordination of multiple fleets", European Journal of Operational Research, vol. 193, publicación 2, páginas 377-389.
11. Han Wang, 2009, "The Strategy of Utilizing Taxi Empty Cruise Time to Solve the Short Distance Trip Problem".

¹⁶ Corresponding Author

12. A. Alshamsi, S. Abdallah, and I. Rahwan, 2009, "Multiagent Self-organization for a Taxi Dispatch System," AAMAS '09 Proceedings of the 8th international joint conference.
13. M. Shrivastava, P. K. Chande, A. S. Monga, 1997, "Taxi despatch: a fuzzy rule approach," in IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, páginas 978-982.
14. Jip Man Vuong 2011, "Solving the multi-objective Dial-a-Rideproblem without using routing heuristics", Master's Thesis, Department of Software Technology, Faculty EEMCS, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.
15. Golden, B.L., Laporte, G. and Taillard, E.D. 1997, "An Adaptive Memory Heuristic for a class of Vehicle Routing Problems with minmax Objective". Computers & Operations Research, Vol. 24, No. 5 páginas 445-452.
16. Manar Ibrahim Hosny 2010, "Investigating Heuristic and Meta-Heuristic Algorithms for Solving Pickup and Delivery Problems", a thesis submitted in partial fulfilment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy, Cardiff University School of Computer Science & Informatics.
17. Jean-François Cordeau, Gilbert Laporte 2003, "A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem", Transportation Research Part B 37 (2003) 579–594.
18. Michel Gendreau, François Guertin, Jean-Yves Potvin, René Séguin 2006, "Neighborhood search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries", Transportation Research Part C 14 (2006) 157–174.
19. Fantáxico 2013, "Presentación orientada a captación de clientes".